

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav řízení a ekonomiky podniku



DIPLOMOVÁ PRÁCE

POSOUZENÍ ENVIRONMENTÁLNÍCH A EKONOMICKÝCH
DOPADŮ ŽIVOTNÍHO CYKLU PRŮMYSLUVÉHO VÝROBKU

ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC IMPACTS
OF THE LIFE CYCLE OF AN INDUSTRIAL PRODUCT

Autor: Bc. Kateřina Sváčková
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Řízení a ekonomika podniku
Vedoucí práce: Ing. Stieberová Barbora, Ph.D.

PRAHA 2021

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Sváčková** Jméno: **Kateřina** Osobní číslo: **466717**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav řízení a ekonomiky podniku**
Studijní program: **Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Řízení a ekonomika podniku**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Posouzení environmentálních a ekonomických dopadů životního cyklu průmyslového výrobku

Název diplomové práce anglicky:

Assessment of environmental and economic impacts of the life cycle of an industrial product

Pokyny pro vypracování:

1. Úvod – uvedení do problematiky, definování cíle práce.
2. Charakteristika metodiky LCA – Life Cycle Assessment.
3. Analýza problematiky environmentálních aspektů výroby produktu.
4. Zpracování LCA studie dvou alternativ výrobního procesu produktu.
5. Analýza a posouzení ekonomických dopadů srovnávaných alternativ výroby.
6. Závěrečné vyhodnocení.

Seznam doporučené literatury:

1. KOČÍ, Vladimír. LCA a EPD stavebních výrobků: posuzování životního cyklu a environmentální prohlášení o produktu jako cesta k udržitelnému stavebnictví. Praha: Česká rada pro šetrné budovy, 2012. ISBN 978-80-260-3504-6.
2. SONNEMANN, Guido, Francisc CASTELLS a Marta SCHUHMACHER. Integrated life-cycle and risk assessment for industrial processes. Boca Raton: Lewis Publishers, c2004. ISBN 1-56670-644-0.
3. HAUSCHILD, Michael Z., ROSENBAUM, Ralph K., OLSEN Stig Irving a Editors. Life cycle Assessment, Theory and Practice. Montpellier: Springer International Publishing, 2018. ISBN 978-3-319-56474-6.
4. HORNE, Ralph E., Tim GRANT a Karli VERGHESE. Life Cycle Assessment: Principles, Practice and Prospects [online]. Victoria: CSIRO Publishing, 2009. ISBN 9780643094529;0643094520.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Barbora Stieberová, Ph.D., ústav řízení a ekonomiky podniku FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **30.04.2021**

Termín odevzdání diplomové práce: **23.07.2021**

Platnost zadání diplomové práce: **28.02.2022**

Ing. Barbora Stieberová, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

prof. Ing. František Freiberg, CSc.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomantka bere na vědomí, že je povinna vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studentky

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracovala samostatně, a to výhradně s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citovaných zdrojů.

V Praze dne:

.....

Podpis

Anotace

Diplomová práce se zabývá posouzením dopadů životního cyklu železobetonového prefabrikátu na životní prostředí. Posuzovány jsou environmentální dopady prefabrikátů vyráběných z konvenčního betonu a z alternativního green betonu. Dílčí oblastí diplomové práce je hodnocení těchto variant z ekonomického pohledu.

Klíčová slova

Life Cycle Assessment (LCA), životní cyklus, environmentální dopady, stavebnictví, green beton, železobetonový prefabrikát, SimaPro, Impact 2002+

Annotation

The diploma thesis is focused on the environmental impact assessment of the life cycle of a reinforced concrete prefabricated element. The assessment is about the difference in environmental impacts between conventional concrete and an alternative green concrete solution. Part of the diploma thesis is touching on the evaluation of both variants from the economic point of view.

Keywords

Life Cycle Assessment (LCA), life cycle, environmental impacts, construction, green concrete, reinforced concrete prefabricated element, SimaPro, Impact 2002+

Poděkování

Ráda bych poděkovala své vedoucí diplomové práce paní Ing. Barboře Stieberové, Ph.D. za odborné vedení a cenné rady. Děkuji také vedení společnosti MABA Prefa s.r.o. za vstřícné a otevřené jednání. Jejich ochota ke spolupráci výrazně přispěla ke komplexnímu pohledu na řešenou problematiku.

OBSAH

Úvod	10
1 Charakteristika metodiky Life Cycle Assessment	11
1.1 Definování cíle	12
1.2 Definování rozsahu	13
1.2.1 Funkční jednotka	13
1.2.2 Referenční tok	14
1.2.3 Hranice systému	14
1.3 Inventarizační analýza	16
1.4 Hodnocení dopadů životního cyklu	17
1.4.1 Výpočet výsledku indikátoru kategorie dopadu	18
1.5 Interpretace	20
1.6 Metoda výpočtu IMPACT 2002+	21
1.6.1 Kategorie dopadu metody IMPACT 2002+	21
2 Představení společnosti	24
3 Železobetonové prefabrikáty	25
3.1 Železobetonové prefabrikáty společnosti MABA Prefa s.r.o.	25
3.2 Druhy betonu	26
4 Analýza problematiky environmentálních aspektů výroby prefabrikátů	28
5 Životní cyklus železobetonových prefabrikátů	29
5.1 Konvenční proces těžby surovin a výroby vstupního materiálu	31
5.1.1 Kamenivo	31
5.1.2 Cement	32
5.1.3 Chemie do betonu	33
5.1.4 Voda	35
5.2 Ekologická varianta těžby surovin a výroby vstupního materiálu	36

5.2.1	Betonový recyklát.....	37
5.2.2	Popílek.....	38
5.2.3	Slévárenský písek	39
5.2.4	Vysokopecní struska	39
5.2.5	Ocelářenská struska	40
5.3	Výroba betonové směsi	40
5.4	Příprava armatury	40
5.5	Výroba železobetonových prefabrikátů	41
5.6	Likvidace/recyklace železobetonových prefabrikátů	42
6	LCA studie	42
7	Zpracování LCA studie	43
7.1	Definice cíle a rozsahu.....	43
7.2	Funkční jednotka	44
7.3	Hranice systému.....	44
7.3.1	Fáze životního cyklu prefabrikátů z konvenčního betonu	47
7.3.2	Fáze životního cyklu prefabrikátů z green betonu	47
7.4	Inventarizační analýza	48
7.4.1	Betonová směs	48
7.4.2	Výztuž.....	49
7.4.3	Transport.....	50
7.4.4	Energie a voda	51
7.5	Hodnocení dopadů	52
7.5.1	Dopady výroby betonových směsí	53
7.5.2	Dopady výrobního procesu prefabrikátů.....	68
7.5.3	Dopady procesu recyklace/likvidace prefabrikátů	77
7.5.4	Porovnání dopadů.....	78

7.5.5	Shrnutí výsledků	83
8	Ekonomické zhodnocení	84
8.1	Life cycle costing	84
8.2	Náklady spojené s výrobou konvenčního a green betonu	85
8.3	Porovnání nákladů.....	87
Závěr.....	90
Seznam použité literatury	92
Seznam obrázků	95
Seznam tabulek.....	96
Seznam rovnic.....	96
Seznam grafů	97
Příloha	99

ÚVOD

Obecně platí, že stavební průmysl patří mezi největší spotřebitele materiálů a energie. Je tak významným znečišťovatelem životního prostředí. Od druhé poloviny 20. století se v Evropě stále silněji bere v potaz environmentální vliv průmyslové výroby. V dnešní době je dopad na životní prostředí posuzován především z hlediska emisí skleníkových plynů a změny klimatu. V rámci Evropské unie došlo k přijetí cílů v souvislosti se snahou snížit do roku 2050 produkci CO₂. [1] Podstatný environmentální dopad má konkrétně beton, jeden z nejpoužívanějších stavebních materiálů. Každý rok se celosvětově vyrobí okolo 25 miliard tun betonu. Jen výroba 1 tuny cementu, základní složky betonu, je doprovázena emisí 1 tuny CO₂. [2] Tento dopad betonu na životní prostředí se stal důležitým problémem nejen v průmyslovém světě. Dnešní společnost si uvědomuje důležitost ochrany životního prostředí a vyžaduje ekologicky udržitelné produkty.

V souvislosti s poznáním environmentálních dopadů vznikla metoda Posuzování životního cyklu (Life Cycle Assessment), která je součástí normy ČSN EN ISO 14 040. Tato metoda je zaměřena na shromažďování a následné vyhodnocování vstupů, výstupů a možných dopadů výrobku na životní prostředí během celého jeho životního cyklu. Podniky, které jsou si vědomy naléhavosti situace a chtějí na trhu přetrvat konkurenceschopní, podnikají příslušné kroky v rámci ekologizace výroby. Součástí tohoto procesu je aplikace normy a přístupu LCA. Rámec LCA je obecně přijímán jako spolehlivý nástroj pro hodnocení environmentálních dopadů. [2] Jedná se o vícestupňový proces, který se skládá z definice a cíle rozsahu, inventarizační analýzy, analýzy dopadů a interpretace.

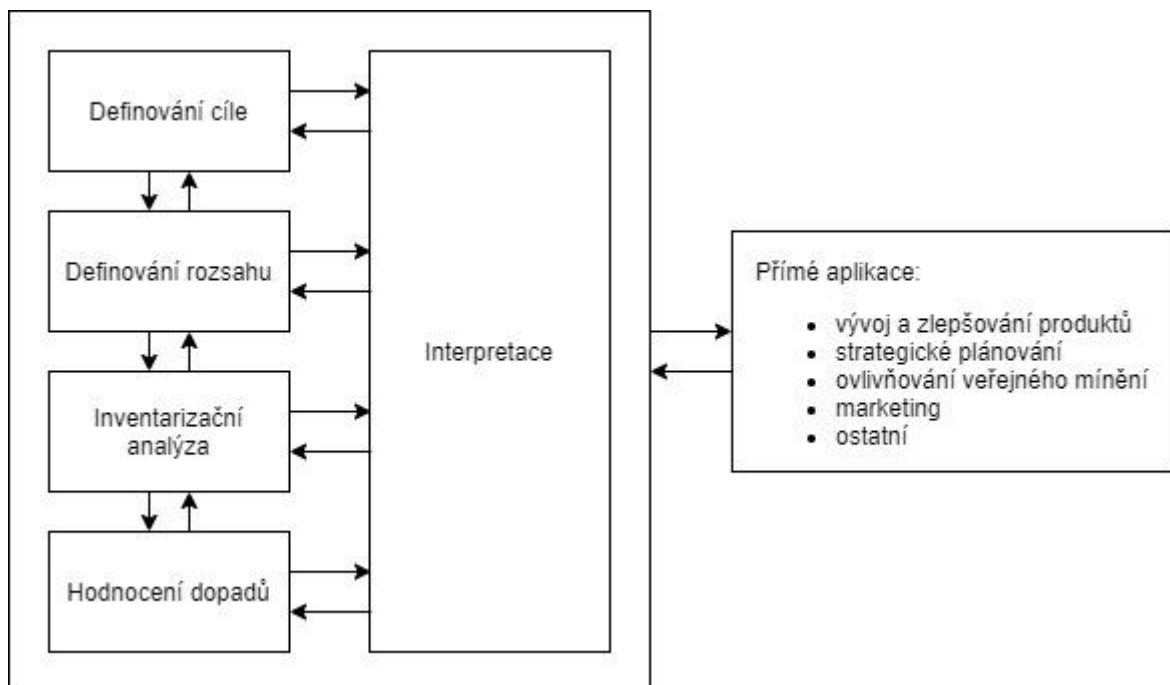
V reakci na stále se zvyšující poptávku po ekologicky udržitelných produktech vznikají různé ekologické varianty betonu, tzv. green betony. Tato práce se zaměřuje na posouzení životního cyklu železobetonového prefabrikátu vyráběného jak z konvenčního betonu, tak právě z několika ekologických variant betonu. Cílem je posouzení a vyhodnocení těchto variant nejen z pohledu dopadů na životní prostředí, ale i z pohledu ekonomického.

1 CHARAKTERISTIKA METODIKY LIFE CYCLE ASSESSMENT

V této kapitole bude popsán především princip sestavování studie posuzování životního cyklu – LCA. Budou zde uvedeny jednotlivé fáze metody LCA, kterými jsou například definování cíle a rozsahu, inventarizační analýza, hodnocení dopadů životního cyklu a závěrečná interpretace výsledků a získaných zjištění. [8]

Metoda LCA byla vyvinuta za účelem systematického posuzování dopadů životního cyklu produktu na životní prostředí. Jedná se o standardizovaný, stále hojně využívaný nástroj, který umožňuje nalezení a posouzení environmentálních zátěží výrobku, služeb či technologií. Tato analytická metoda přistupuje k hodnocení environmentálních dopadů produktů s ohledem na jejich celý životní cyklus. Zahrnuje dopady produktů na životní prostředí již od stadia těžby surovin a výroby výchozích materiálů, přes fázi výroby, fázi užívání až po stadium jeho likvidace či recyklace. [8, 11]

Následující schéma zobrazuje rámec LCA, jednotlivé fáze a vazby mezi nimi.



Obrázek 1: Modifikovaný rámec LCA převzatý ze standardů ISO 14 040 [5]

1.1 Definování cíle

První fází studie je bezpodmínečně definování cíle. Musí být jasně popsáno, co bude předmětem posuzování a za jakým účelem má studie vzniknout. Cíl je třeba přesně definovat od samého začátku, jelikož následující fáze budou jeho definicí silně ovlivněny. V rámci této úvodní fáze je také nutné uvést přijaté předpoklady při sestavování studie a možná omezení z důvodu metodických rozhodnutí. [8, 11]

Účel LCA analýzy může být jak všeobecný, tak konkrétní. Dále jsou uvedeny příklady možných využití metody LCA.

Obecné:

- Porovnání alternativních možností.
- Identifikování příležitostí pro zlepšení životního prostředí.
- Přispívání k pochopení environmentálních důsledků lidské činnosti.
- Vytvoření obrazu interakcí mezi produktem nebo aktivitou a prostředím.
- Poskytování podpůrných informací činitelům s rozhodovacími pravomocemi.

Konkrétní:

- Stanovení vlivu produktu na životní prostředí během celého jeho životního cyklu.
- Určení nejdůležitějších kroků výrobního procesu souvisejících s největším dopadem na životní prostředí.
- Porovnání vlivu produktu na životní prostředí s podobným konkurenčním produktem. [11]

Pokud by bylo cílem analyzovat vliv produktu na životní prostředí, určit jeho současný stav a umožnit budoucí zlepšení, musí být studie LCA pečlivě rozdělena na jednotlivé výrobní procesy do přesně definovaných sekcí nebo fází, aby bylo možné následně určit, které části procesu jsou odpovědné za příslušný environmentální dopad. Naopak, pokud by byla studie navržena k porovnání produktu s jiným produktem, který již byl metodou LCA posuzován, musí být struktura, rozsah a složitost LCA prvního produktu podobná jako u porovnávaného produktu, aby bylo možné provést spolehlivé srovnání. [11]

1.2 Definování rozsahu

Definování rozsahu je důležité z hlediska stanovení systémů výrobku, které budou posuzovány, a z hlediska stanovení metod, pomocí kterých by se toto hodnocení mělo provádět. Podstatnou částí této fáze je nejen specifikace posuzovaného produktového systému, ale také jeho funkce. Nezbytnou součástí je vytyčení způsobu, jakým bude funkce produktu specifikována a kvantifikována. K tomuto účelu slouží tzv. funkční jednotka, která je blíže specifikována v následujících odstavcích. V této fázi zároveň dochází k určení referenčního toku a volbě hranic systému. Cílem této fáze studie je zajištění a dokumentace konzistence jednotlivých metod, předpokladů a údajů, a tím posílení reprodukovatelnosti studie. Existují tři hlavní proměnné v rámci definice rozsahu studie, které jsou obvykle upraveny podle typu prováděného hodnocení. [6, 8]

Těmito proměnnými jsou:

- počet stadií životního cyklu,
- počet dopadů na životní prostředí nebo ukazatelů, které je třeba vzít v úvahu,
- množství shromážděných dat pro studii LCA. [6]

Na základě stanoveného rozsahu se na závěr této fáze studie uvádí přijaté předpoklady použité při sestavování studie současně s možnými omezeními platnosti výsledků. [8]

1.2.1 Funkční jednotka

Funkční jednotka je mírou výkonu poskytovaného studovaným systémem a představuje ústřední koncept LCA. Tato jednotka se používá jako základ, ke kterému se vztahují vstupy a výstupy modelování produktového systému, a která obvykle slouží také jako základ pro srovnání mezi různými systémy plnícími stejnou funkci. Funkční jednotka musí být vzhledem ke svému účelu měřitelná v konkrétních jednotkách, například v kilogramech, litrech, kusech/rok, m² a dalších. [8, 11]

1.2.2 Referenční tok

Referenční tok představuje množství produktu potřebné k naplnění funkce definované funkční jednotkou. Jedná se o určité množství hlavního, námi posuzovaného produktu, jež přímo zodpovídá za naplnění požadované funkce. Obvykle je vyjádřen v kusech, kilogramech či litrech daného produktu. S tímto hlavním produktem však do produktového systému vstupují i určité pomocné materiální a energetické vstupy, které se označují jako toky pomocné. [8]

1.2.3 Hranice systému

Pokud existuje systém, který je analyzován, pak musí existovat i hranice tohoto systému. Obvykle je hranice systému koncepčně rámována z hlediska fází životního cyklu zahrnutých ve studii. Hranice slouží především k oddělení podstatných procesů produktového systému od nepodstatných procesů, které jsou posléze ve studii zanedbány. Z tohoto důvodu volba hranic systému významně ovlivňuje nejen výstupy studie LCA, ale také náročnost a komplikovanost samotné studie. Cílem jsou úzce definované hranice systému, které však zahrnují veškeré podstatné procesy systému s ohledem na studované environmentální dopady. Často studie zahrnují například všechny významné vstupy do procesu, ale nezahrnují kapitálové vybavení, infrastrukturu a služby. Hranice systému zároveň určují geografický a časový rozsah studie, čímž definují rozsah její platnosti. [6, 8, 11]

Hranice životního cyklu

Hranice systému mohou být definovány dle životního cyklu produktu. Pokud je uvažován celý životní cyklus produktu od těžby surovin přes samotné užití až po finální likvidaci, pak se tento způsob definování hranic nazývá „od kolébky do hrobu“. V případě, že není známo místo určení produktu, je analýza zastavena ihned po výrobní fázi. Tento typ studie je označován jako „od kolébky k bráně“. Ve studii je zahrnuta fáze těžby surovin, výroby a popřípadě skladování až do chvíle, kdy produkt opouští výrobní závod. Dále existují studie, které se zabývají analýzou produktu od jeho výroby až po likvidaci. V rozsáhlých studiích se

k analýze často přistupuje způsobem „od brány k bráně“. Tento postup zahrnuje vlastní analýzu každého kroku životního cyklu produktu, jež jsou následně složeny do sady systémů mezi branami, jehož výsledkem je celý proces „od kolébky do hrobu“. [11]

V následující tabulce je přehled tří základních typů stanovení hranic systému pro posuzování stavebních výrobků:

Tabulka 1: Stanovení hranic systému pro posuzování stavebních výrobků [8]

Anglický název	Český název	Zahrnutý životní cyklus výrobku
From cradle to gate	Od kolébky po bránu závodu	Těžba surovin, doprava do závodu, vlastní výroba, př. skladování
From cradle to grave	Od kolébky do hrobu	Celý životní cyklus včetně fáze užití a likvidace
From cradle to site	Od kolébky na místo stavby	Těžba surovin, doprava do závodu, vlastní výroba, př. skladování a expedice, doprava na místo stavby

Geografické hranice

Geografické hranice berou v úvahu geografické limity za účelem stanovení limitů produktového systému. Definování geografických hranic (místní, regionální, státní, kontinentální či světové) je důležité z hlediska lokalizace studie. Environmentální aspekty různých materiálových a energetických toků se liší vzhledem k různým geografickým podmínkám. V jednotlivých zemích probíhají například rozdílné způsoby získávání elektrické energie, a tudíž se liší také environmentální dopady výroby elektřiny společně s dopady procesů spotřebovávajících elektrickou energii. [8, 11]

Hranice zatížení životního prostředí

Existují různé typy environmentálních zátěží jako jsou obnovitelné a neobnovitelné suroviny, emise do ovzduší a kapalin, tuhý odpad, energetické ztráty, záření a hluk.

LCA lze provést s ohledem na celý seznam vstupů a výstupů nebo s přihlédnutím pouze k vybraným typům dopadů. [11]

1.3 Inventarizační analýza

Další fáze LCA zvaná inventarizační analýza slouží ke shromáždění všech důležitých dat a k identifikaci a vyčíslení množství všech materiálových a energetických toků, které vstupují a vystupují do a z produkčního systému. Inventarizační analýza by měla navazovat na definici cíle a rozsahu a řídit se jimi. Výsledkem inventarizace je potom soupis všech vstupů a výstupů produkčního systému. V této fázi je důležité dbát na kvalitu použitých dat, jelikož ta se přirozeně odráží na kvalitě konečných výsledků LCA. Z důvodu umožnění opakovatelnosti studie je nutné kvalitu údajů systematicky popsat, zhodnotit a definovat povahu shromážděných dat, ať už se jedná o podniková data či o veřejně dostupné údaje. [8, 11]

Šest kroků inventarizační analýzy

1. Identifikace procesů pro model LCI

Tvorba počátečního systémového diagramu, jehož výsledkem je podrobné zobrazení všech procesů a jejich vazeb.

2. Plánování a sběr dat

Účelem plánování je stanovení relevantnosti příslušných údajů, na základě čehož dochází k vyvážení úsilí při sběru údajů a informací, aby nedocházelo ke ztrátě času při sběru dat, která mají pro výsledky LCA pouze malý význam. Sběr dat se provádí dle definice rozsahu v souladu se stanovenými hranicemi systému.

3. Sestavování a kontrola kvality jednotek procesů

4. Sestavování modelu LCI a výpočet výsledků

Model je sestavován z jednotkových procesů, jejichž velikost je určena referenčním tokem studie odvozeným z funkční jednotky v definici rozsahu.

5. Příprava základu pro řízení nejistoty a analýzu citlivosti

Analýza nejistoty a citlivosti je stěžejní pro věrohodnou interpretaci chyb, která informuje o spolehlivosti závěrů studie.

6. Report

Podání zprávy. [5]

1.4 Hodnocení dopadů životního cyklu

Environmentální dopady jsou dle Kočího [8] definovány jako pozorovatelné důsledky environmentálních aspektů na kvalitu životního prostředí, zdraví člověka a na množství zásob abiotických a biotických surovin. Posuzování dopadů začíná přiřazením výsledků z inventarizační analýzy k jednotlivým kategoriím dopadu. Následně dochází pomocí softwaru k vyčíslení míry působení elementárních toků na jednotlivé kategorie dopadu a výstupem je soubor hodnot indikátorů kategorií dopadu. [8]

Produkty jsou poté posuzovány na základě množství toxicity spjaté s jejich životním cyklem. Takové množství toxicity je vyjádřeno právě pomocí indikátorů kategorie dopadu. Tyto indikátory představují měřitelnou veličinu s jednoznačně definovanými jednotkami a vyjadřují schopnost elementárních toků způsobovat nežádoucí účinky v životním prostředí. [8]

Existují indikátory kategorie dopadu dvojího typu:

- midpointový indikátor – indikátor na úrovni midpointu;
- endpointový indikátor – indikátor na úrovni endpointu. [8]

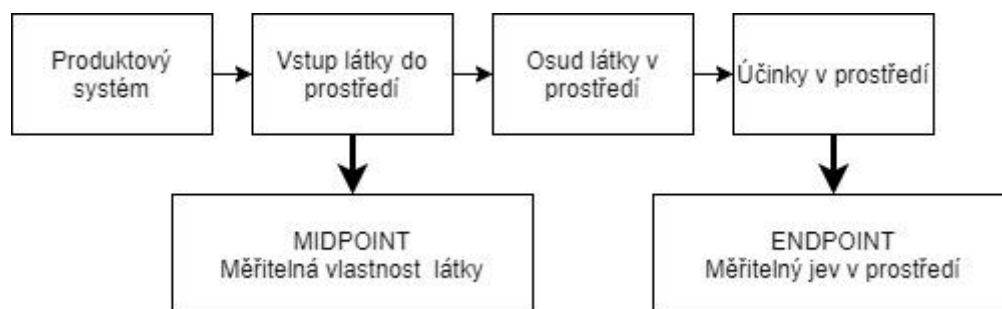
Midpointový indikátor

Midpointové hodnocení škodlivosti daného elementárního toku je schopnost daného elementárního toku vyvolávat environmentální poškození ku zvolené referenční látce. Midpointový indikátor kategorie dopadu je potom měřítkem škodlivých vlastností elementárních toků, též definovaný jako měřítko

potenciálních schopností tuto kategorii dopadu zapříčiňovat. Příkladem midpointového indikátoru je potenciál globálního oteplování. Indikátor této kategorie dopadu vyjadřuje schopnost skleníkového plynu zadržovat energii v atmosféře ve srovnání s referenční látkou, kterou je oxid uhličitý. [8]

Endpointový indikátor

Elementární toky vyvolávají chemicko-fyzikální děje, které obvykle vedou ke konkrétnímu pozorovatelnému poškození prostředí. Tento konečný měřitelný účinek je potom nazýván endpoint. Endpointový indikátor kategorie dopadu je tedy vyčíslená hodnota určitého jevu, který byl vyvolán přítomností elementárního toku v prostředí. Příkladem endpointového indikátoru dopadu globálního oteplování je zvýšení hladiny světového oceánu, tání ledovců, či četnost extrémních jevů v atmosféře. [8]



Obrázek 2: Pozice midpointů a endpointů v dopadovém řetězci [8]

1.4.1 Výpočet výsledku indikátoru kategorie dopadu

Výsledek indikátoru kategorie dopadu představuje vyčíslený potenciál dopadu dané kategorie. Jedná se o číslo, které ukazuje, jakou měrou se posuzovaný elementární tok podílí na rozvoji dané kategorie dopadu. Výpočet výsledku indikátoru kategorie dopadu lze vyjádřit následujícím vztahem, kde $CF_{i,XY}$ je charakterizační faktor pro látku i a pro kategorii dopadu XY , kde m představuje množství elementárního toku dané látky. [8]

$$V_{i,XY} = CF_{i,XY} \times m_i \quad (1)$$

Rovnice 1: Obecná rovnice výpočtu výsledku indikátoru kategorie dopadu pro jeden elementární tok [8]

Pokud je posuzovaná látka i vypouštěna do prostředí v r emisních tocích, pak je výpočet výsledku indikátoru kategorie dopadu modifikován následovně. [8]

$$V_{i,XY} = CF_{i,XY} \times \sum_r m_i \quad (2)$$

Rovnice 2: Obecná rovnice výpočtu výsledku indikátorů kategorie dopadu pro r elementárních toků [8]

Dle Kočího [8] je charakterizační faktor CF často označován jako potenciál látky vyvolávat určitou kategorii dopadu. Příkladem je například GWP zastupující potenciál globálního oteplování. Výpočet indikátoru kategorie dopadu globálního oteplování se stanoví dle níže uvedené rovnice.

$$GW_i = GWP_i \times \sum_r m_i \quad (3)$$

Rovnice 3: Charakterizace elementárního toku látky i na kategorii dopadu globální oteplování [8]

Kočí dále uvádí, že: „Potenciál globálního oteplování GWP vyjadřuje poměr mezi nárůstem absorpce energie infračerveného záření při stálé emisi 1 kg skleníkového plynu i a nárůstem absorpce energie infračerveného záření při stálé emisi 1 kg CO_2 . Nárůsty absorpce energie jsou integrovány v čase t pro koncentrace skleníkového plynu v atmosféře $c_{i,t}$ v době t po jejich emisi. GWP je měřítkem potenciálního příspěvku látky k zadržování energie v atmosféře, má jednotku kg CO_2 ekv/kg a je definován následujícím vztahem“ [8]:

$$GWP_{i,t} = \frac{\int_0^t a_i c_{i,t} dt}{\int_0^t a_{CO_2} c_{CO_2,t} dt} \quad (4)$$

Rovnice 4: Rovnice 4: Vzorec pro výpočet potenciálu globálního oteplování GWP [8]

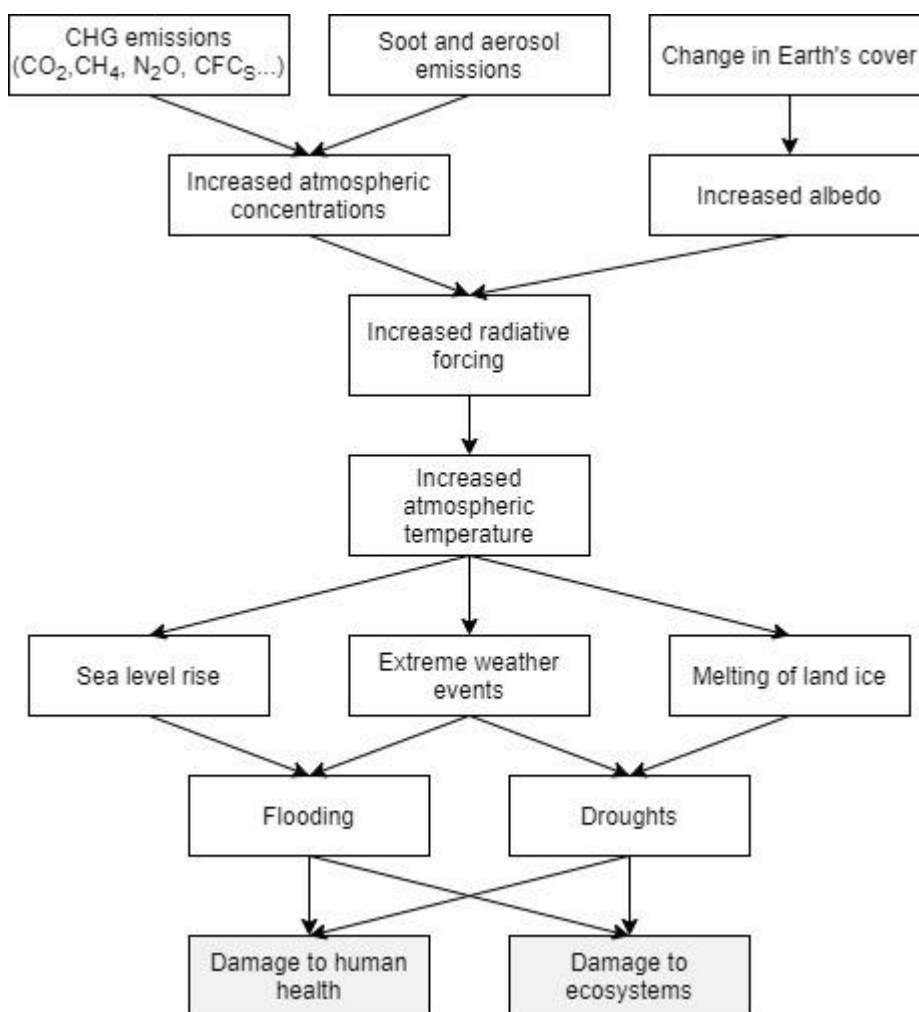
Kategorie dopadu bývají způsobovány současně více elementárními toky. Cílem je stanovení výsledku indikátoru kategorie dopadu pro všechny elementární toky podílející se na zvolené kategorii dopadu. Konečným výsledkem je součet výsledků indikátorů kategorie dopadu všech odpovídajících elementárních toků. [8] Tento výsledek je možné vyjádřit takto:

$$V_{XY} = CF_{látka1,XY} \times \sum_r látka\ 1 + CF_{látka2,XY} \times \sum_r látka\ 2 + \dots + CF_{látka i,XY} \times \sum_r látka\ i$$

$$V_{XY} = \sum_i (CF_{i,XY} \times \sum_r m_i) \quad (5)$$

Rovnice 5: Souhrnný vzorec výpočtu indikátoru kategorie dopadu [8]

Postup stanovení dopadu kategorie globální oteplování je podrobně znázorněn prostřednictvím níže uvedeného schématu.



Obrázek 3: Schéma postupu dopadu v kategorii globální oteplování [5]

1.5 Interpretace

Interpretace je poslední fází LCA studie. Slouží k přehlednému prezentování dříve zjištěných poznatků. Výsledky předchozích fází jsou analyzovány a posuzovány jako celek s ohledem na nejistoty použitých údajů. Součástí interpretace by mělo být zhodnocení a následné ověření platnosti významných zjištění. Výstupem interpretační fáze je závěrečná zpráva obsahující popis řešení, zjištěné výsledky, popis přijatých zjednodušení, odhadů či předpokladů a výsledná doporučení, která respektují definici cíle. [8]

Interpretaci je možné shrnout do třech následujících kroků:

- identifikace významných řešení;
- hodnocení;
- formulace závěrů a doporučení. [8]

1.6 Metoda výpočtu IMPACT 2002+

V této práci bude použita metodika posuzování dopadů životního cyklu IMPACT 2002+, která pro hodnocení využívá kombinovaný přístup čtrnácti midpointových a čtyř endpointových indikátorů. Tato metodika se zakládá na ideji, že vyjádření vlivu jednoho elementárního toku v dopadovém řetězci může být jak na midpointové, tak na endpointové úrovni kategorie dopadu. Pro každý elementární tok jsou využívány tři různé faktory:

- Midpointový charakterizační faktor
- Normalizovaný endpointový charakterizační faktor
- Endpointový charakterizační faktor [3]

Charakterizační faktory jsou vymezeny jednoznačně definovanými jednotkami. Z důvodu nemožnosti přímého porovnávání určitých indikátorů kategorií dopadu vzhledem k různým jednotkám vznikla normalizace. Principem normalizace je převod výsledků indikátorů kategorie dopadu na bezrozměrné hodnoty. [19]

Metodika IMPACT 2002+ bude použita prostřednictvím softwaru SimaPro. V softwarovém balíčku SimaPro je databáze transparentní a program umožňuje zobrazení výsledků v různých formátech například po klasifikaci či charakterizaci. [11]

1.6.1 Kategorie dopadu metody IMPACT 2002+

Podrobný přehled čtrnácti midpointových a čtyř endpointových indikátorů kategorií dopadu využívaných v rámci metody posuzování dopadů životního cyklu IMPACT 2002+.

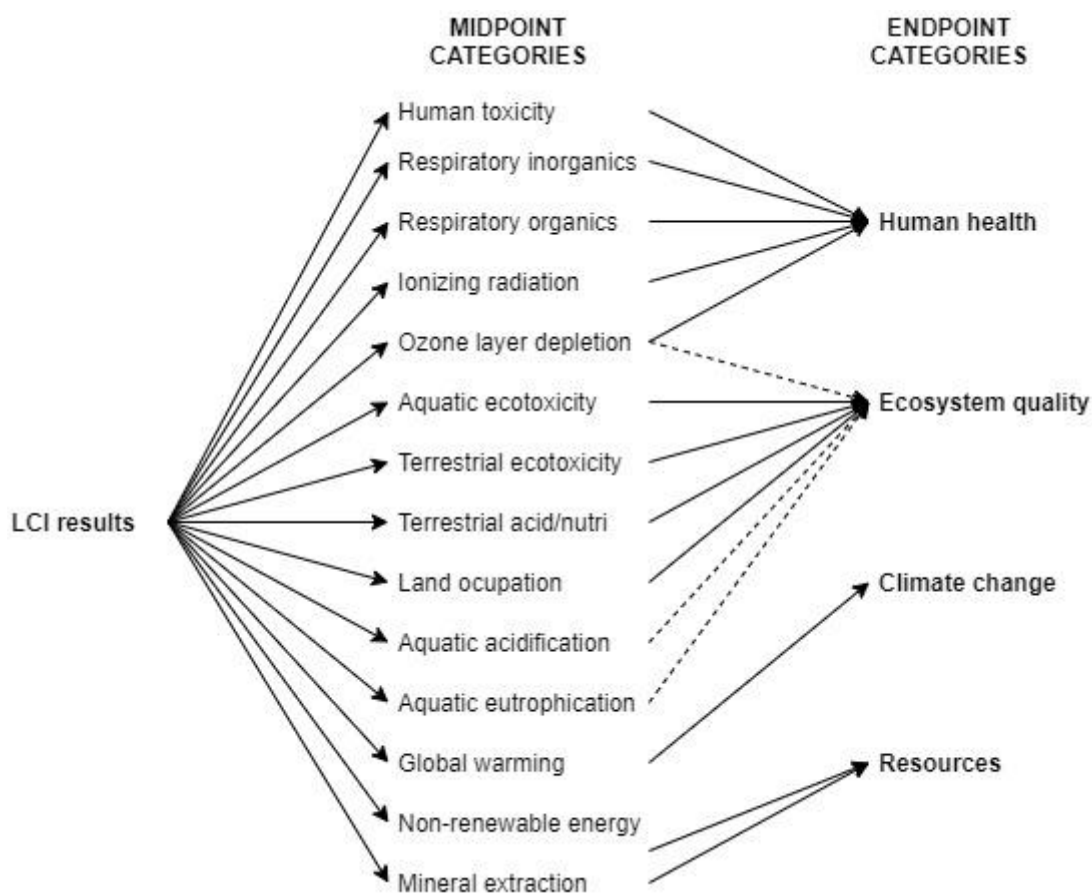
Tabulka 2: Přehled midpointových indikátorů IMPACT 2002+ [7, 8]

Anglický název	Český název	Charakteristika
Human toxicity	Toxicita na lidské zdraví	Toxické chemikálie uvolňované do prostředí s negativními účinky na zdraví člověka
Respiratory inorganics	Respirační onemocnění způsobené anorganickými látkami	Částice vzniklé spalováním fosilních paliv způsobující dýchací potíže
Ionizing radiation	Ionizační záření	Záření s dostatkem energie k ionizaci atomů či molekul, které může poškodit živou tkáň
Ozone layer depletion	Úbytek ozónové vrstvy	Zředění ozónové vrstvy v atmosféře vedoucí ke zvýšení ultrafialového záření na zemi
Respiratory organics	Respirační onemocnění způsobené organickými látkami	Organické částice uvolňované do vzduchu způsobující respirační onemocnění
Aquatic ecotoxicity	Ekotoxická voda	Přítomnost jedů ve vodě způsobena ukládáním či pronikáním chemikálií do vodních toků
Terrestrial ecotoxicity	Půdní ekotoxická	Přítomnost toxinů v půdě
Terrestrial acid/nutri	Acidifikace a eutrofizace půd	Nepříznivé dopady vzdušných depozic
Land occupation	Užívání půdy	Omezení použití či nedostatek půdy
Aquatic acidification	Acidifikace vod	Okyselování prostředí v důsledku emitování škodlivých látek do půdy, vody a vzduchu
Aquatic eutrophication	Eutrofizace vod	Nadbytek rostlinných živin (dusík a fosfor) ve vodním ekosystému
Global warming	Globální oteplování	Akumulace skleníkových plynů v atmosféře vedoucí ke zvýšení průměrné teploty Země
Non-renewable energy	Energie z neobnovitelných zdrojů	Spotřeba neobnovitelných přírodních zdrojů (ropa, uhlí, zemní plyn)
Mineral extraction	Těžba surovin	Omezené neobnovitelné množství nerostných úložišť

Tabulka 3: Přehled endpointových indikátorů IMPACT 2002+ [7, 8]

Anglický název	Český název	Charakteristika
Human health	Lidské zdraví	Toxicita na lidské zdraví, respirační onemocnění anorganické i organické, ionizační záření a úbytek ozónu
Ecosystem quality	Kvalita ekosystému	Ekotoxicita vod, terestrická ekotoxicita, acidifikace a eutrofizace půdy a vod, užívání krajiny
Climate change	Klimatické změny	Globální oteplování
Resources	Zdroje	Energie z neobnovitelných zdrojů a těžba surovin

Endpointové indikátory kategorie dopadu jsou vždy součtem určitých midpointových kategorií dopadu. Následující schéma přehledně zobrazuje vztahy mezi jednotlivými midpointovými a příslušnými endpointovými kategoriemi.



Obrázek 4: Kategorie dopadů metody IMPACT 2002+ [19]

2 PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI

Společnost MABA Prefa s.r.o. je jedním z největších a nejvýznamnějších výrobců prefabrikovaných železobetonových výrobků v České republice. Nachází se v jižních Čechách, konkrétně ve městě Veselí nad Lužnicí. Díky této geografické poloze v blízkosti dálnice D3 je zajištěna výborná dostupnost a také mnoho pracovních příležitostí. MABA Prefa spol. s r.o. nabízí své výrobky především na českém trhu, ale současně je významná část produkce expedována do zahraničí, zejména do Rakouska a Německa. Roční obrat společnosti se pohybuje každoročně mezi 200 a 300 miliony korun. [17]

Závod byl založen roku 1949, kdy se zahájila výroba prefabrikátů. Od té chvíle společnost postupně rostla a rozšiřovala portfolio nabízených výrobků. K zásadnímu růstu došlo v roce 1987, kdy se v souvislosti s výstavbou jaderné elektrárny Temelín rozšířil i výrobní podnik ve Veselí nad Lužnicí. Od roku 2007 je společnost MABA Prefa součástí nadnárodní průmyslové skupiny Kirchdorfer Industries GmbH. Jedná se o koncernovou společnost zahrnující dílčí samostatně hospodařící jednotky, které vyrábějí a prodávají cement, transportní beton, suroviny (kámen, písek, štěrk) a železobetonové prefabrikáty. Tyto společnosti jsou samostatnými divizemi s vlastní organizační strukturou. Vedení, respektive jednatele jednotlivých divizí, následně podléhají strategickému vedení Kirchdorfer Industries sídlící v Rakousku. V příslušnosti k nadnárodnímu koncernu MABA Prefa disponuje nejmodernějším know-how na výrobu železobetonových prefabrikátů a má možnost využívat výsledků vývojové činnosti mateřské společnosti. [17]

Výrobní závod leží na celkové ploše o velikosti 145 000 m², na které se nachází administrativní budova, 10 výrobních hal, vrátnice, budova expedice, sklady a jídelna. V současné době zde pracuje 100 kmenových zaměstnanců, kteří se podílejí na chodu společnosti. Konkurenční výhodou společnosti v rámci České republiky je spolu s dostatečnou výrobní kapacitou a technologickým vybavením i specifická výroba předepjatých nosných prvků (např. vazníky, průvlaky

nebo stropní systémy). Je jedním z mála výrobců vysoko zátěžových stropních TT panelů. [17]

3 ŽELEZOBETONOVÉ PREFABRIKÁTY

Železobetonový prefabrikát je stavební prvek. Slovo prefabrikát odkazuje na předvýrobu. Jednotlivé prefabrikáty jsou zhotoveny přímo v betonárnách a následně jsou dopraveny na staveniště, kde dochází k jejich montáži. Jedná se nejčastěji o sériovou výrobu. Výhodou prefabrikace je rychlejší, levnější a efektivnější výstavba, a navíc vyšší rozměrová přesnost a celková jakost výrobku v porovnání s litým betonem. Omezením může být například výroba a transport nadrozměrných dílů. Betonárna je limitována svými rozměry a také možnostmi dopravy, ať už jde o nákladní automobily či vlaky. [9, 10]

3.1 Železobetonové prefabrikáty společnosti MABA Prefa s.r.o.

Společnost MABA Prefa s.r.o. v současné době vyrábí železobetonové výrobky včetně montáže, konstrukční dokumentace a komplexního doprovodného servisu a služeb. Vyrábí prefabrikáty pro průmyslovou a bytovou výstavbu, silniční a dopravní stavitelství, zemědělství a pro řadu dalších odvětví. [17] V průběhu hlavní letní sezony se výroba primárně soustředí na zakázkové skelety průmyslových hal a bytových domů, ale i na konkrétní projekty pro silniční betonová svodidla DELTA BLOC® nebo dopravní zábrany CITY BLOC®. Výrobu můžeme rozdělit na tři základní typy:

- průmyslové stavby – zakázková výroba;
- liniové stavby – silnice, železnice;
- velkosériové zakázky – výroba na sklad. (*Zdroj: interní materiál firmy*)

Do skupiny průmyslové výstavby patří bezpochyby ty největší a nejnáročnější výrobky. Jedná se o zakázkovou výrobu, ale to primárně z toho důvodu, že tyto výrobky není možné dlouhodobě skladovat. Do této skupiny patří TT stropní desky, tyčové prvky – vazníky, průvlaky, konzolové sloupy, prefabrikované základové patky a kompletní skelety průmyslových a skladových hal. Druhou skupinou je

silniční a dopravní stavitelství. Pro výrobu těchto prvků získala společnost licenci z Rakouska. Doménou společnosti MABA Prefa jsou zmiňovaná dopravní svodidla CITY BLOC a DELTA BLOC. Do této skupiny patří také silniční panely, protihlukové stěny, soklové panely protihlukových stěn, sloupy protihlukových stěn a mostní nosníky. Další významnou řadou je specifický typ výrobků, které společnost MABA Prefa nazývá koncernovými výrobky. V tomto případě hovoříme o velkosériových zakázkách. Koncernové výrobky jsou vyráběny pouze pro mateřskou společnost Kirchdorfer Industries GmbH, která je výhradním dodavatelem rakouských drah ÖBB. Jedná se o hrany železničních nástupišť UB, zátěžová závaží BG a soklové panely. (Zdroj: interní materiál firmy)

3.2 Druhy betonu

Společnost MABA Prefa s.r.o. eviduje více než 40 různých druhů receptur betonu, které se vzájemně liší svým složením a svými vlastnostmi. Každý výsledný stavební prvek má odlišný účel a tomu je potřeba přizpůsobit složení betonové směsi. Každá betonová směs zákonitě obsahuje písek, kamenivo, cement a vodu. Tyto vstupní suroviny se v jednotlivých recepturách liší relativním zastoupením. Další složkou je chemie do betonu. Existuje mnoho různých druhů chemických přísad, které se přidávají například za účelem zlepšení mechanických vlastností betonu, zrychlení procesu vytvrzování atd. Nejčastější chemickou přísadou ve společnosti MABA Prefa s.r.o. je Stachement, který je přidáván do většiny betonových směsí. V menší míře je do některých směsí přidáván také popílek, který je ekologičtější a také levnější náhradou cementu.

Následující schémata zobrazují složení vybraných betonových směsí s různým stupněm vlivu prostředí a třídou pevnosti v tlaku. U všech typů je uvedeno procentuální zastoupení jednotlivých vstupních surovin a také příklad hotového železobetonového prefabrikátu, který je z příslušné směsi vyráběn. Tyto konkrétní směsi byly vybrány s ohledem na možnost náhrady konvenčních vstupních surovin ekologickými variantami. Jedná se o betonové směsi nižších tříd, které nepodléhají požadavkům na velmi vysoké pevnosti v tlaku a vysokou odolnost vůči vlivu

agresivního prostředí. Betonové směsi, které tyto požadavky musí splňovat jsou velmi těžko nahraditelné ekologickými variantami, jelikož je za použití alternativních surovin zatím skoro nemožné dosáhnout srovnatelných vlastností výsledného produktu.



Obrázek 5: Složení betonové směsi - typ 1 (Zdroj: interní materiál firmy)

Z uvedené betonové směsi C 25/30 XF3-1 jsou vyráběny silniční panely. Silniční panely jsou stavebními prvky produkovanými ve velkosériových zakázkách. Z toho důvodu je tato konkrétní receptura betonu ve společnosti často využívána. Jelikož se nejedná o náročný prvek vystavený vysoce agresivnímu prostředí, jsou silniční panely ideálním produktem, ve kterém by bylo možné nahradit konvenční suroviny ekologickými variantami.



Obrázek 6: Složení betonové směsi - typ 2 (Zdroj: interní materiál firmy)

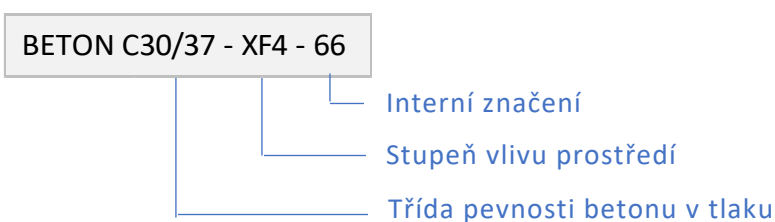
Z betonové směsi C30/37 XF4-66 jsou vyráběny například opěrné stěny siláží. V tomto případě je díky nenáročnosti výsledného produktu v receptuře zahrnut popílek, který částečně nahrazuje cement. Opět se jedná o pravidelně využívanou recepturu betonu, která je vhodná pro použití ekologických surovin.

Další vhodnou směsí by mohla být směs C 45/55 XC4-4, ze které jsou vyráběny například průvlaky, žebra, vaznice (RZT), předepjaté průvlaky a předepjaté vaznice (RPT), sloupy (VZS), střešní vazníky (SZP), předepjaté střešní vazníky (SPP), stropní panely (PZD) a schodišťová ramena (DZR).



Obrázek 7: Složení betonové směsi - typ 3 (Zdroj: interní materiál firmy)

Značení betonu odpovídá požadavkům normy ČSN EN 206+A1. Označení XF4 stejně tak jako označení XF3 značí odolnost proti působení mrazu a rozmrazování s nebo bez rozmrazovacích prostředků. Beton může být vystaven významnému působení střídavého mrazu a rozmrazování. Beton se stupněm ochrany XF4 navíc odolává vlivu mořské vody. Užití označení XC4 potom značí odolnost proti korozi vlivem karbonatace. Tento stupeň ochrany je vhodný pro stavební prvky vystavené střídavě suchému a mokrému prostředí, což zahrnuje veškeré prvky přímo vystavené srážkám. (Zdroj: interní materiál firmy)



4 ANALÝZA PROBLEMATIKY ENVIRONMENTÁLNÍCH ASPEKTŮ VÝROBY PREFABRIKÁTŮ

Mnoho studií LCA týkající se stavebnictví je zaměřeno na fáze údržby a provozu staveb, jelikož tyto fáze prý obecně představují největší část spotřeby energie během životního cyklu budov. Důležité je, že existuje nespočet betonových

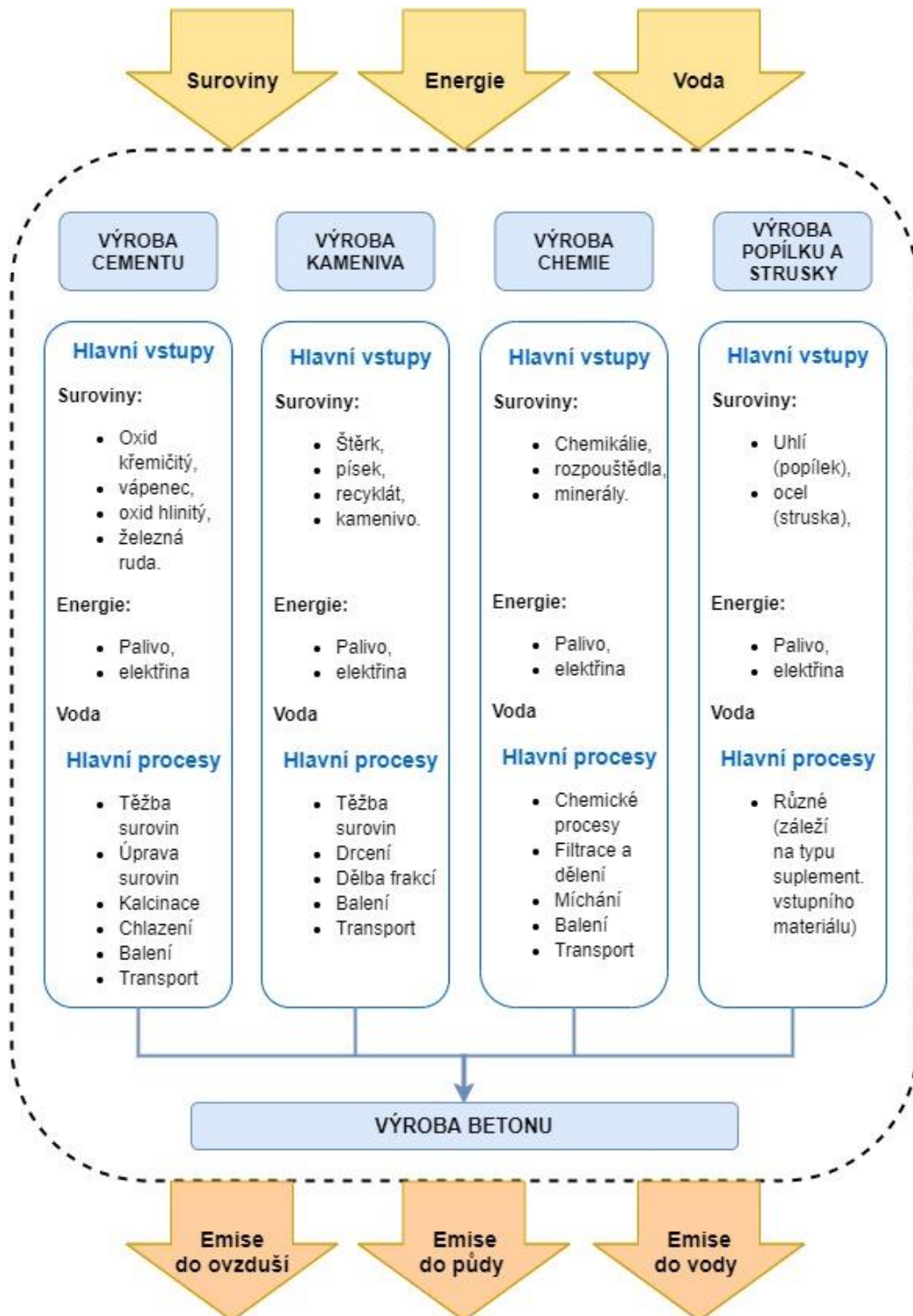
stavebních prvků, které neslouží pro stavbu budov. Nicméně výrobní fáze, doprava a konstrukce ať již betonových prvků, které jsou součástí budov či prvků s jiným účelem použití představují významnou část životního cyklu železobetonového prefabrikátu. Existuje nespočet zdrojů (např.: [2], [4], [12]), které uvádí, že samotná produkce má největší množství spotřeby energie a emisí skleníkových plynů.

Tato práce se zabývá environmentálními aspekty výroby železobetonových prefabrikátů. V rámci výroby prefabrikátů existuje celá řada činností a procesů, které mají vliv na životní prostředí. Některé mají vliv zanedbatelný, jiné podstatný. Náplní následujících kapitol jsou především procesy se značným environmentálním vlivem. Zároveň existuje příležitost podniku tyto procesy změnit, upravit či nahradit ekologičtějšími variantami. Hovoříme především o samotné výrobě betonu, zejména těžbě surovin a výrobě vstupního materiálu. Zde má podnik možnost nahradit konvenční suroviny a materiály alternativami šetrnějšími k životnímu prostředí. Nejobvyklejší změnou je náhrada části obsahu cementu v betonové směsi doplňkovým cementovým materiálem, kterým může být popílek, vápenec, vysokopecní struska atd. Vedle toho může být nahrazeno také přírodní kamenivo, a to v podobě betonového recyklátu. Dále hovoříme o transportu v rámci výroby prefabrikátů, kde podnik může zasáhnout optimalizací přepravy například formou efektivnějšího využití přepravních kapacit nebo formou snížení přepravních vzdáleností. Také zde bude zmíněna optimalizace spotřeby energie, obzvláště pak výrobních hal a zařízení. Kromě toho existuje spousta variant týkajících se recyklace vody při výrobě betonu. Volba konkrétních možností pak byla provedena na základě skutečnosti, že každá úprava musí být ve společnosti efektivní.

5 ŽIVOTNÍ CYKLUS ŽELEZOBETONOVÝCH PREFABRIKÁTŮ

Životní cyklus prefabrikátů začíná bezesporu výrobou. Výroba železobetonových prefabrikátů je stejně jako každý proces přeměnou vstupů na výstupy. Stěžejním procesem při výrobě železobetonových prefabrikátů je bezesporu výroba betonu.

V následujícím schématu jsou znázorněny hlavní vstupy, procesy a výstupy, které společně vytváří výrobní proces betonu. Výrobě železobetonových prefabrikátů předchází proces těžby surovin a výroby vstupního materiálu, zmíněný proces výroby betonu a proces přípravy armatury a forem.



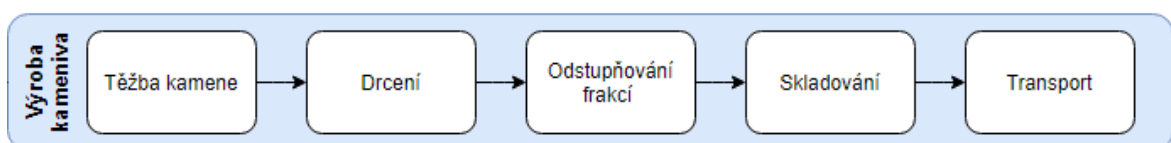
Obrázek 8: Schéma hlavních vstupů, procesů a výstupů výroby betonu [4]

5.1 Konvenční proces těžby surovin a výroby vstupního materiálu

5.1.1 Kamenivo

První surovinou nezbytnou pro výrobu betonu je kamenivo, to tvoří 60–75 % celkového objemu betonu. Kamenivo se dělí na dva základní druhy a těmi jsou kamenivo jemné a kamenivo hrubé. Tyto skupiny se následně dále dělí na jednotlivé frakce podle velikosti zrn. Frakci je možné definovat jako kamenivo, které projde sítím s určitou velikostí otvorů. Například frakce 0-4 mm představuje písek a štěrk, který propadne sítím s otvory o průměru 4 mm. Obdobně to funguje i s dalšími frakcemi. Hrubé kamenivo zahrnuje všechny frakce od 4 do 63 mm a je z valné většiny tvořeno štěrkem. Přírodní štěrk a písek je obvykle těžen v dolech, řekách, jezerech nebo z mořského dna. Naopak drcené kamenivo se vyrábí drcením kamene v kamenolomu, balvanů nebo velkých kusů přírodního štěrku. Vytěžením kameniva ale proces nekončí. Následně je nezbytné kamenivo nadrtit a umýt, aby bylo docíleno správné čistoty a odstupňování frakcí. Po zpracování je kamenivo uloženo, aby nedocházelo k dalšímu znečištění. [15]

Kamenivo významně ovlivňuje kvalitu výsledného betonu. Silně ovlivňuje jak čerstvě namíchaný beton, tak poté již vyzrálý zatvrdlý beton. Dále má také vliv na proporce betonové směsi a finanční stránku při výrobě betonu. Z tohoto důvodu je ve společnostech vyrábějících beton výběr kameniva velmi důležitým procesem. Kamenivo se liší nejen svou velikostí, ale také svými vlastnostmi. Mezi ty hlavní patří odolnost, tvar částic a jejich povrch, odolnost proti otěrům, kluzkost, hmotnost a dutiny v kamenivu a absorpce povrchové vlhkosti. Významnou roli hraje i množství a kvalitativní stabilita dodávek z konkrétního zdroje. [15] Společnost MABA Prefa odebírá kamenivo získané těžbou v kamenolomech. Variantou vhodnější z hlediska dopadů na životní prostředí je použití betonového recyklátu.



Obrázek 9: Proces výroby kameniva

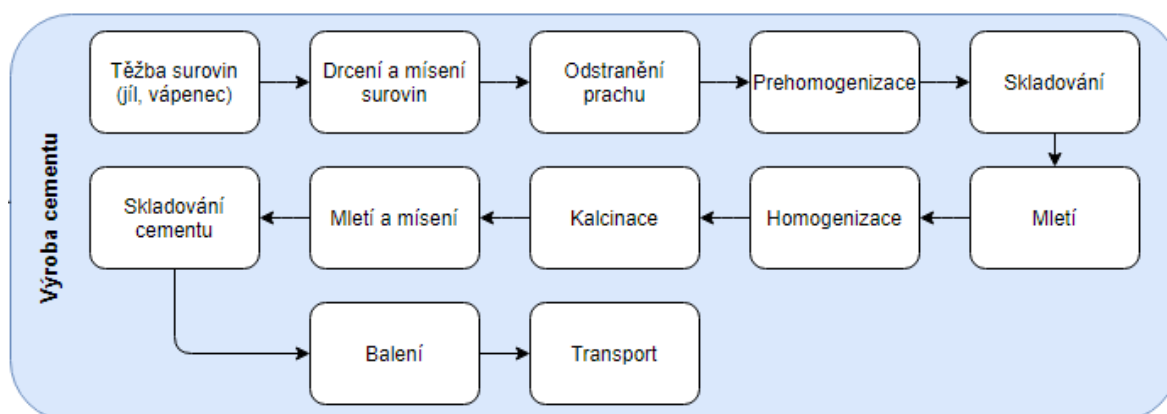
5.1.2 Cement

Proces výroby cementu začíná těžbou vápence a jílu v lomech. Tyto suroviny se těží pomocí výbušniny, která se uloží do vrtu ve skále a následně se odpálí. Cementárny tvrdí, že vzhledem k používání moderní technologie má tento proces zanedbatelný vliv na životní prostředí. Jakmile proběhne odstřel, tak se hrubý materiál převeze v nákladních automobilech, popřípadě na nějakém dopravním pásu, do závodu. Zde je lomový kámen pomocí skluzů dodáván do drtiče, kde je snížena jeho frakce drcením na části o velikosti asi 4 centimetry. Po dokončení drcení následuje proces prehomogenizace. Prehomogenizace je proporcionální smíšení různých druhů jílu, vápence a dalších potřebných materiálů. Dalším krokem je skladování. Je nutné každou ze surovin uchovávat samostatně ve skladovacích silech, aby nedošlo k nechtěnému smíchání. Z těchto sil jsou suroviny později přidávány do výroby dle požadovaného množství konkrétního druhu cementu. Předtím ještě dochází k mletí daných surovin, které probíhá v ocelovém mlýnu, který drtí materiál pomocí tří kónických válců, které se valí přes materiál na otočném stole. Druhým způsobem mletí surovin je pomocí horizontálních mlýnů, uvnitř kterých drtí materiál ocelové koule. Navazujícím procesem je homogenizace. Homogenizuje se již získaná surovinová moučka v silech určených k vytvoření homogenní materiálové směsi. Tato směs dále podstoupí proces kalcinace. Hlavní část kalcinace probíhá v obrovských rotačních pecích rozehřátých na 1 400 °C, kde se surovinová moučka přemění na slínek. Slínek jsou malá, tmavě šedá zrna, která mají průměr okolo 3,5 centimetru. Slínek je postupně semlet ocelovými koulemi v komorách mlýnů na cement. Po přidání sádrovce se prodlužuje jeho doba tuhnutí. Hotový produkt je uskladněn ve skladovacích silech, odkud je postupně odebírán a balen do pytlů, popřípadě distribuován volně ložený. [14]

Výroba cementu je jedním z energeticky nejnáročnějších průmyslových procesů. Z toho důvodu se evropský cementářský průmysl společně s dalšími energeticky náročnými průmysly zavázal, že přispěje ke zlepšení ochrany životního prostředí. Pokud jde o optimalizaci výrobního procesu v oblasti výpalu slínku a mletí cementu, je vzhledem k dnešním technologickým znalostem potenciál snižování

emisí CO₂ prakticky vyčerpán. Kromě možnosti využití druhotných paliv při výrobě se jako nejlepší ekologickou variantou jeví výroba směsných cementů. U nich se měrné emise CO₂ na tunu cementu omezují snížením podílu energeticky náročného slínku užitím dalších hlavních složek, jejichž výroba produkuje menší emise CO₂. [1]

Výše popsaným způsobem vyráběný cement se nazývá portlandský. Společnost MABA Prefa využívá portlandský cement ve většině svých betonových směsích. Portlandský cement pak často tvoří základ směsných cementů. Existují portlandské cementy s popílkem či s vápencem. Podíl těchto příměsových surovin však nedosahuje více než 35 % z celkového objemu výsledného cementu. Specifickým případem je vysokopecní cement. Zde tvoří portlandský cement menšinový podíl. Hlavní surovinou je vysokopecní granulovaná struska, která tvoří 40–95 % objemu vysokopecního cementu. [1] Dle různých studií [1] jsou směsné cementy se sníženým obsahem slínku ekologickou variantou čistého portlandského cementu, který však vyniká svou kvalitou.



Obrázek 10: Proces výroby cementu

5.1.3 Chemie do betonu

Chemické přísady do betonu existují buď v tekuté nebo práškové podobě. Vzhledem k ostatním složkám betonu je podíl chemických přísad velmi malý. Přísady se do betonu přimíchávají pro zlepšení vlastností betonu. Obecně snižují obsah vody v betonové směsi, aniž by poškodily její konzistenci či přispěly k tvorbě propadů. Vzhledem k tomu, že složení těchto chemických příměsí není veřejně známo a dodavatelé si nepřejí, aby k tomu jakkoli došlo, jelikož se jedná o obchodní

tajemství, jsou informace použité v této práci čerpány z The European Federation of Concrete Admixture Associations (EFCA). Tato asociace uveřejnila „eco-profil“ superplastifikátorů právě kvůli ekologickým dopadům zmiňovaných utajovaných chemických přísad. Výsledky hodnocení životního cyklu uvedené v jejich prohlášení se týkají produktu s nejvyšším dopadem na životní prostředí. Jelikož nemohou uvést všechny typy přísad, zvolili nejhorší možný scénář. Základem těchto přísad je ether lignosulfonát, naftalensulfonát, melamin sulfonát a polykarboxylát nebo jejich směsi. Množství dávky se pohybuje mezi 0,4 a 2,0 % hmotnosti cementu.

Společnost MABA Prefa nejčastěji využívá superplastifikátor Stachement. Tato chemická přísada je plastifikační a ztekuovací přísadou do betonových směsí. Jedná se o vodný roztok sulfonovaného polykondensátu na bázi naftalenu. Stachement umožňuje vyrábět betony vysokých pevnostních tříd při relativně nízké spotřebě cementu. Vzhledem k možnosti využití jeho ztekuujícího účinku ke snížení množství vody a využití možnosti dosažení vyšších pevností betonu se sníženou dávkou cementu je použití Stachementu výhodné nejen z hlediska nákladů. [21]

Tabulka 4: Složení příměsí do betonu dle EFCA

<i>Složka</i>	<i>Hmotnostní podíl</i>
Lignosulphonate	Max. 35%
Naphthalene sulphonate	Max. 30%
Melamine sulphonate	Max. 45%
Polycarboxylate	Max. 35%
Additives	Max. 5%
Voda	Cca. 55-75%

5.1.4 Voda

Voda spolu s cementem a kamenivem tvoří jednu ze tří hlavních složek betonu. Voda zajišťuje hydrataci cementu, umožňuje zpracovatelnost čerstvého betonu a také slouží k ošetřování betonu po dobu nezbytnou k nabytí potřebných fyzikálně-mechanických charakteristik. Existuje několik možností získávání vody použitelné pro výrobu betonu.

Tabulka 5: Typy vody použitelné do betonu [1]

<i>Typ vody</i>	<i>Podmínky použití do betonu</i>
Pitná voda	Voda se považuje za vhodnou pro použití do betonu, nemusí se zkoušet
Voda získaná při recyklaci v betonárně	Používá se samostatně nebo smíchaná s jinou vodou, musí vyhovět požadavkům normy ČSN EN 1008
Podzemní voda	Může být vhodná pro použití do betonu, je nutno vyzkoušet
Povrchová voda a odpadní průmyslová voda	Může být vhodná pro použití do betonu, je nutno vyzkoušet

Použití pitné vody z vodovodního řádu je téměř bez rizika. Voda je neustále kontrolována a má stálé vlastnosti, jedinou nevýhodou jsou nejvyšší pořizovací náklady. Společnosti často využívají vodu z řádu i z důvodu spolehlivosti dodávek neomezeného množství. V ostatních případech získávání vody je složení vody nutné vyzkoušet a pravidelně kontrolovat. V České republice se nabízí především podzemní voda z vrtů a studní a povrchová voda z vodotečí či vodních nádrží. Zvláštní pozornost je v rámci ochrany životního prostředí třeba věnovat vodě získané při recyklaci v betonárně. Do jímek na recyklovanou vodu se sbírá voda

z procesu rozplavování zbytků betonu vráceného ze stavby zpět na betonárnu, voda z oplachů autodomíchávačů a z výplachu míchaček při jejich čištění. Z pohledu rozumného hospodaření s přírodními zdroji se tato varianta jeví jako nejlepší, ale tato voda může obsahovat stopová množství přísad, jemné částice zhydratovaného cementu a jemné podíly z použitého kameniva. Není tak vhodným zdrojem při výrobě betonu se speciálními požadavky (beton pohledový, provzdušněný, předepjatý atd.) a doporučuje se používat k výrobě betonu na stejné betonárně kvůli kompatibilitě s používanými materiály, zejména přísadami. [1]

Voda je nejjednodušší součástí betonu jen zdánlivě. Její použití je nutné provádět pečlivě a s rozmyslem, jelikož její kvalita a původ nemá vliv pouze na výslednou odolnost a pevnost betonu, ale právě také na životní prostředí. Jen na výrobu betonu v České republice jsou každoročně potřeba zhruba 2 miliony m³ vody. [1]

5.2 Ekologická varianta těžby surovin a výroby vstupního materiálu

Stavební materiály jsou stále více posuzovány dle svých ekologických charakteristik. A tak je i v případě betonu snaha vyvinout ekologickou variantu. Jsou prováděny nejrůznější pokusy, které mají za cíl vyvinout green beton se srovnatelnou pevností a odolností jako má beton konvenční. V současné chvíli tyto snahy probíhají pouze v rámci pilotních projektů a je nutné následně veškeré výsledky potvrdit v praxi, kdy budou výrobky z green betonu skutečně použity pro stavební účely. [12]

Existují tři typy průmyslových vedlejších produktů, které mohou být potenciálně použity při výrobě green betonu. Těmito produkty jsou popílek, slévárenský písek a ocelárenská struska. [12] Tyto produkty již částečně nahrazují konvenční suroviny, ale jejich podíly se na celkovém objemu výsledného betonu podílejí pouze minimálně. Vzhledem k tomu, že se jedná o odpadní produkty, je jejich dostupnost v budoucích letech nejistá. Normy se zpřísňují a podniky ze všech odvětví jsou nuceni přistupovat k výrobě výrazně ekologičtěji, než tomu bylo donedávna. Hlavním cílem je minimalizovat odpad. Jednou z možností je

předcházení nebo alespoň minimalizace vzniku odpadních produktů. To je většinou podmíněno změnou výrobní technologie. Pokud tato varianta není možná, je podnik vybízen alespoň k využití odpadního materiálu. Primární by mělo být zpracování odpadu v rámci samotného podniku.

Z tohoto hlediska elektrárny v budoucnu pravděpodobně nebudou produkovat popílek, železářny vysokopecní strusku, slévárny budou regenerovat slévárenský písek a dále ho využívat a ocelárny budou v rámci své výroby recyklovat ocelářenskou strusku. Je tedy na zvážení, zda jsou tyto odpadní produkty vhodnou náhradou surovin pro výrobu green betonu. Navíc vysokých pecí a uhelných elektráren v Evropě ubývá a je tedy jen otázkou času, kdy se z těchto možností stane kvůli jejich nedostatku slepá ulička. Tato skutečnost pouze zesiluje tlak na cementárny, aby upravily svou výrobu v souladu s ekologickými požadavky, jelikož zatím neexistuje vhodná ekologická náhrada cementu. [1] Je možné, že se objeví nové alternativy vstupních materiálů, které zaručí výrobu kvalitního a ekologicky šetrného betonu. V této chvíli se jako nejlepší varianta jeví použití recyklátu.

5.2.1 Betonový recyklát

Stavební průmysl je ideální oblastí pro využití recyklovaného odpadního materiálu. Současná legislativa navíc v tomto odvětví takový přístup podporuje. Recyklace betonu získává stále více na důležitosti, jelikož se tím snižuje potřeba čerpání přírodních zdrojů a eliminuje se proces likvidace. [12]

Betonový recyklát se získává drcením betonových sutin, ze kterých je pomocí vibrací a magnetu odloučeno železo. Zde je důležité zmínit, že z celkového objemu stavební suti lze pro beton využít asi pouze 10 až 20 %. [1] Je důležité, aby při procesu recyklace došlo k odstranění veškerých nežádoucích látek, kterými jsou například sklo, kov, sádra nebo dřevo. Tyto nečistoty výrazně snižují kvalitu výsledného recyklátu. Právě kvalita recyklátu určuje, v jakém poměru může recyklát nahradit přírodní kamenivo. Betonový recyklát má vyšší propustnost než přírodní kamenivo, a tak se se zvyšující se úrovní náhrady kameniva recyklátem

zvýšuje absorpční kapacita výsledného betonu. [13] Pro zachování potřebné konzistence betonové směsi je nutné zvýšit dávku záměsové vody, což se projeví snížením pevnosti betonu v tlaku. Z toho důvodu zatím není možné plně nahradit přírodní kamenivo betonovým recyklátem. Některé společnosti tvrdí, že jsou schopny již stoprocentně využívat pouze betonový recyklát. Tato aplikace recyklátu je však podmíněna použitím jakési chemické příměsi, která zajišťuje požadované vlastnosti výsledného betonu. Tato přísada je však prozatím tajemstvím. Vzhledem k rostoucímu nedostatku přírodního kameniva se použití jakéhokoli množství recyklátu považuje za optimální variantu.

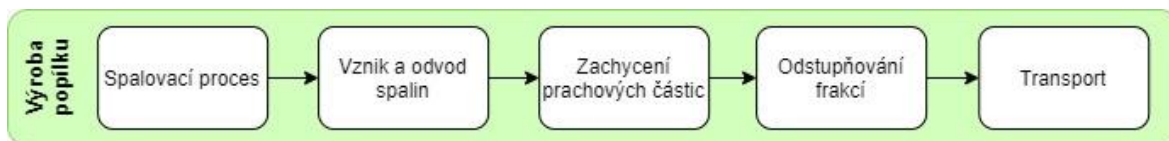


Obrázek 11: Proces výroby recyklátu

5.2.2 Popílek

Popílek je odpadním produktem elektráren a vzniká procesem spalování práškového antracitu, černého či hnědého uhlí. Je zachycován v elektrostatických či mechanických odlučovačích ze spalin tepelných elektráren. Pro své příznivé vlastnosti je popílek využíván jako částečná náhrada portlandského cementu v betonových směsích či jako příměs směsných cementů. [1, 18] Přestože je použití popílku považováno za ekologický proces, jeho samotná produkce rozhodně nemůže být považována za ekologickou. Z toho důvodu je v současné době jeho produkce v elektrárnách výrazně regulována. Dříve byl popílek kvalitní a dalo by se říci, že plně nahrazoval cement. Měl všechny potřebné vlastnosti a navíc byl méně nákladný. Vzhledem k energeticky náročnému výrobnímu procesu cementu a jeho ekologickým dopadům se jevil popílek jako skvělá alternativa, která je šetrnější k životnímu prostředí. Nejen že je nyní kvalita popílku velmi nestabilní, ale navíc je popílek nedostupným zbožím. Továrny totiž kvůli emisím popílek téměř neprodukují. Nedostupnost popílku lze předpokládat v horizontu 20 až 30 let. [1] Z těchto důvodů se použití popílku při výrobě betonu stalo spíše ojedinělou výjimkou. Jelikož se betonáři nemohou spolehnout na jeho kvalitu, ani na včasné

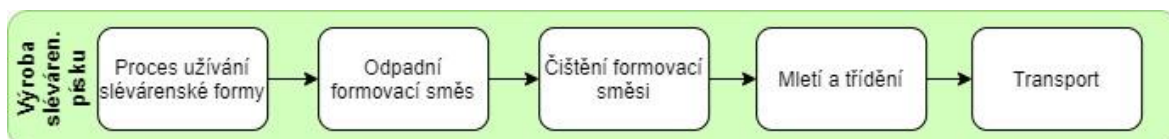
dodání v požadovaném množství, není možné s popílkem v rámci výrobního procesu dlouhodobě počítat.



Obrázek 12: Proces výroby popílku

5.2.3 Slévárenský písek

Slévárenský písek je odpadním materiálem, který je produkován slévárnami. Ve slévárnách se používá k výrobě pískových forem a jader. Slévárenský písek se skládá z křemičitého písku, který je spojen s fenolovou pryskyřicí. Tento písek se vyznačuje vysokou chemickou čistotou a je proto vhodný i pro použití v dalších průmyslových oborech, jako je stavebnictví. [20] Slévárenský písek je vhodný například pro výrobu portlandského cementu. V případě uplatnění při výrobě betonu se doporučuje náhrada běžného drobného kameniva pouze do 20–30 % s doplněním kameniva hrubší frakce. Důvodem je vysoká jemnost slévárenského písku, která neodpovídá požadavkům na výrobu betonu.



Obrázek 13: Proces výroby slévárenského písku

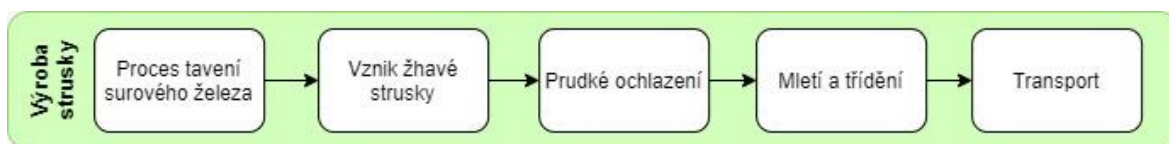
5.2.4 Vysokopecní struska

Vysokopecní struska je vedlejším produktem, který vzniká z odpadové taveniny při výrobě železa ve vysokých pecích. K tvorbě strusky dochází konkrétně při tavení železné rudy ve vysoké peci. Vysokopecní struska vzniká rychlým ochlazením žhavé strusky na odvalech. Vzhledem k vhodnému chemickému složení a vlastnostem se vysokopecní granulovaná struska po semletí využívá jako samostatně dávkovaná příměs do betonu nahrazující cement, nebo častěji jako hlavní složka směsných cementů. Cement s vysokým podílem vysokopecní strusky se nazývá vysokopecní cement. Správné složení strusky do cementu určuje norma EN 197-1 a norma EN 15167-1. [1, 22]

Dostupnost vysokopecní strusky postupně klesá vzhledem ke snižující se výrobě železa. Nedostupnost strusky se předpokládá v horizontu cca 10 až 15 let. [1]

5.2.5 Ocelářská struska

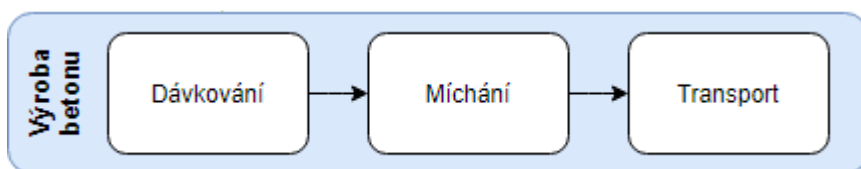
Kromě využívání mleté vysokopecní granulované strusky je snaha používat také strusku ocelářskou. Ta vzniká podobným způsobem jako struska vysokopecní, avšak při tavení surového železa, což je součást procesu výroby oceli. Ocelářská struska obsahuje na rozdíl od vysokopecní strusky více oxidů železa a CaO, naopak má nižší obsah Al_2O_3 . Z hlediska požadavků na kvalitu strusky pro použití do betonu je využití ocelářských strusek horší než u vysokopecní strusky. Využívá se přibližně 65 %, zbytek je ukládán na skládky. Stejně jako v případě vysokopecní strusky je dostupnost ocelářské strusky v budoucnu nejistá. [1]



Obrázek 14: Proces výroby ocelářské strusky

5.3 Výroba betonové směsi

Jednotlivé vstupní složky betonové směsi jsou uchovávány v silech, ze kterých jsou následně dopravovány do míchačky. Dochází k dávkování jednotlivých surovin dle požadované receptury a poté k míchání. Výsledná směs je vypuštěna do připravených autodomíchávačů alias mixů, které ji dopraví do příslušné haly.

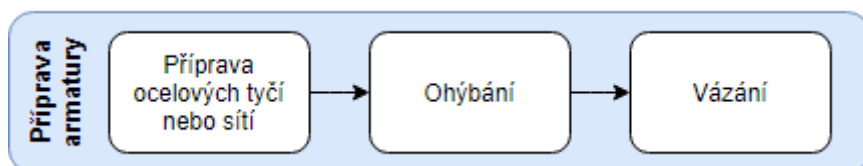


Obrázek 15: Proces výroby betonu

5.4 Příprava armatury

Vstupním materiálem pro přípravu armatury jsou „roxory“ neboli betonářské tyče, které mohou být nakupovány samostatně nebo ve svitcích, a kari sítě. Pokud jsou

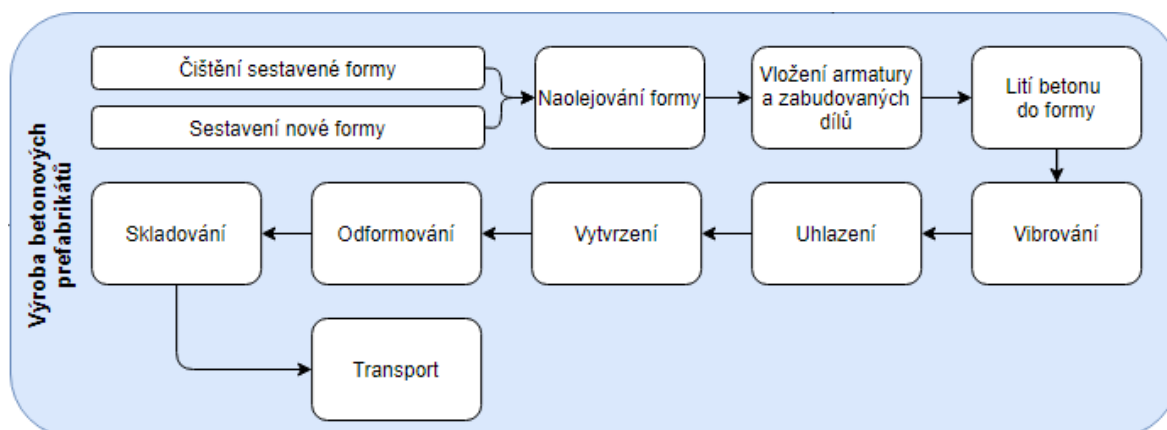
roxory ve svitcích, pak je první operací rovnání. Následně již všechny typy tyčí a sítí pokračují na střihačku, kde dochází ke stříhu na požadovaný rozměr. Výsledné výstřižky se dále ohýbají přibližně do tvaru výsledného prefabrikátu. Ohyb může být buď ruční nebo strojní. Strojní ohyb zajišťuje třmínkovačka a využívá se v případě sériových zakázek nebo u složitých tvarů. Poté dochází k vázání či svařování, což se odvíjí od požadavků technologa, a vzniká výsledná armatura.



Obrázek 16: Proces přípravy armatury

5.5 Výroba železobetonových prefabrikátů

Tato fáze začíná přípravou forem. Pokud se jedná o sériovou výrobu, dochází k čištění již sestavené formy. Pokud se bude vyrábět na zakázku, je nutné nejprve formu sestavit. Sestavená forma je dále naolejována a dochází k vložení připravené armatury a dalších zabudovaných dílů. Následuje lití betonu do formy a vibrování za účelem vyplnění celého prostoru formy betonem a předejití vzniku vzduchových bublin. Provibrovaný beton je na povrchu uhlazen a nechává se postupně chladnout, přičemž dochází k vytvrzení. Vytvrzený výrobek je vyjmut z formy a uskladněn, popřípadě převezen na místo stavby.



Obrázek 17: Proces výroby betonových prefabrikátů

5.6 Likvidace/recyklace železobetonových prefabrikátů

Výhodou železobetonových prefabrikátů je jejich velmi vysoká životnost. Přesto vždy nadejde moment, kdy bude nezbytná demontáž konstrukce a následná likvidace sutin. Jelikož likvidace betonového odpadu znamená převoz suti na skládku, je vždy preferován způsob recyklace. Odpad z demolice je dopraven do recyklačních třídících linek, kde je drcen. Následně dochází k odlučování veškerého cizorodého materiálu, dalšímu drcení, mletí a třídění. Výsledný produkt může být znovupoužit jako podklad pro vozovky, silnice, železnice, jako podkladní vrstva pod základy či v podobě recyklovaného kameniva do nového betonu.



Obrázek 18: Proces likvidace/recyklace betonových prefabrikátů

6 LCA STUDIE

V oblasti stavebnictví existují různé studie, které se zabývají problematikou ekologických dopadů spojených s výrobou stavebních prvků. V souvislosti s rostoucím povědomím o udržitelnosti vznikla studie, která posuzuje vysoce pevné předepjaté betonové prvky z konvenčního betonu a z ekologické varianty betonu (A plant based LCA of high-strength prestressed concrete elements and the assessment of a practical ecological variant [2]). Cílem této studie bylo objasnit několik aspektů ekologické certifikace a norem a následná aplikace těchto hledisek ve společnosti. V první části došlo k posouzení životního cyklu od samotné výroby prefabrikovaných prvků, až po dodání na místo. Z analýzy je patrné, že přestože v dopadech dominuje výztužná ocel a cement, tak další faktory jako je silniční doprava, údržba, agregáty, výroba prvků a betonový odpad nejsou zanedbatelné. Následně studie ekologické varianty dokazuje, že několik adaptací ve výrobním procesu může potenciálně snížit dopad na životní prostředí o 20 až 30 % v závislosti na použité metodě hodnocení.

Další studie se zabývají řadou green betonových směsí mající podobné základní vlastnosti jako odpovídající konvenční betonové směsi. Konkrétně studie pocházející ze Slovinska (Environmental evaluation of green concretes versus conventional concrete by means of LCA [12]) zkoumala green betonové směsi připraveny ze tří různých vedlejších průmyslových produktů, tj. slévárenského písku, ocelové strusky a popílku. Některé směsi byly připraveny z recyklátu získaného z železobetonového odpadu. Všechny tyto materiály jsou schopny v určitém rozsahu nahradit přírodní kamenivo nebo portlandský cement v betonových směsích a tím zajistit ochranu životního prostředí z hlediska úspory přírodních zdrojů. V případě recyklace železobetonového odpadu se nabízí nejen opětovné použití recyklátu namísto kameniva, ale také opětovné využití železného šrotu z ocelové výztuže.

7 ZPRACOVÁNÍ LCA STUDIE

Cílem studie je představit konkrétní příklad aplikace LCA v betonářském průmyslu. Tato studie je zaměřena na železobetonové prefabrikáty. Železobetonovým prefabrikátem jsou veškeré betonové prvky, které jsou tvořeny ve formách přímo v místě výrobního závodu a na stavbu jsou dopravovány již jako hotové produkty.

Pro analýzu environmentálních dopadů betonových prefabrikátů bude použit software SimaPro.

7.1 Definice cíle a rozsahu

Cílem LCA analýzy je posoudit a vyhodnotit environmentální dopad výrobního cyklu betonových prefabrikátů. V tomto případě se bude jednat o srovnání výroby prefabrikátů z konvenčního betonu a prefabrikátů z betonu s ekologickou variantou surovin. Informace o ekologických variantách jsou založeny na předchozích poznatcích z literárních zdrojů [2, 4, 12]. Jelikož se jedná o stavební prvky, tak je v obou případech nutné dosáhnout požadovaných vlastností materiálu jako pevnost a tvrdost. Z toho důvodu budou mít oba výsledné produkty srovnatelné vlastnosti, kvalitu a zároveň dobu životnosti. Cílem je určit, zda jsou

dopady na životní prostředí v případě tzv. green betonu opravdu nižší vzhledem ke složitému získávání alternativních surovin a zda je dobrou volbou postupný přechod z výroby konvenčního betonu na green beton. Zároveň dojde k vyhodnocení, které faktory jsou opravdu důležité a které jsou méně relevantní. Součástí je také ekonomické zhodnocení obou výrobních procesů, jelikož jsou náklady stále ještě rozhodujícím faktorem pro většinu firem.

7.2 Funkční jednotka

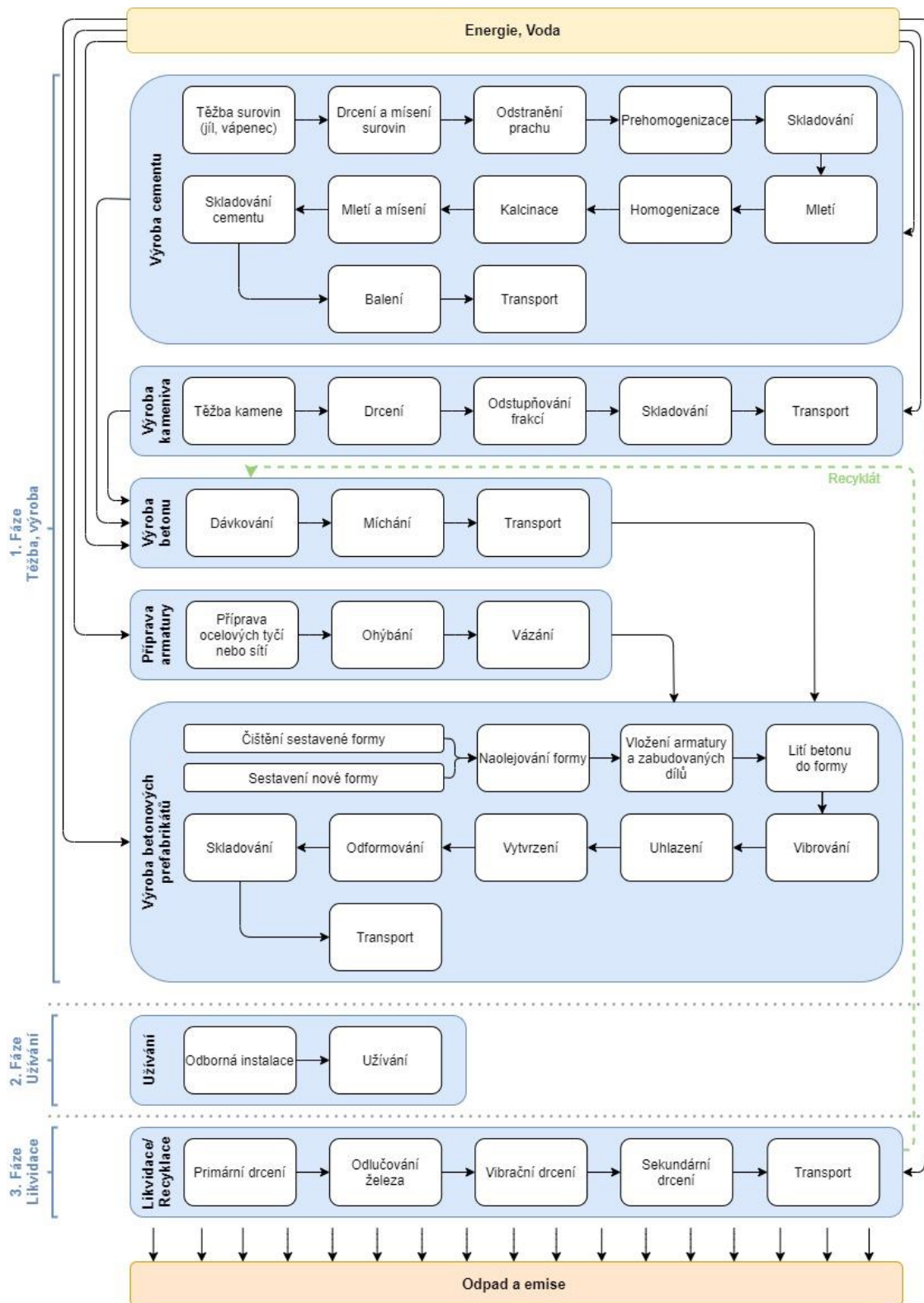
Funkční jednotka je považována za referenční jednotku produktového systému, pro kterou bude vypočítán dopad na životní prostředí. V této studii musela funkční jednotka odpovídat celkové výrobě konkrétní společnosti s možností vyhodnotit relativní dopady různých přispívajících procesů. Kromě toho může výsledky ovlivnit předpokládaná životnost produktu, takže bylo žádoucí zapracovat životnost, pro kterou společnost většinou počítá konkrétní prvky. Z těchto důvodů zde byl jako funkční jednotka zvolen 1 m³ betonového bloku s životností 50 let.

7.3 Hranice systému

Stanovené hranice systému zahrnují celý životní cyklus prefabrikátů z konvenčního betonu a prefabrikátů z green betonu. Hranice systému odpovídají zmíněnému přístupu od kolébky k hrobu. Zahrnuty jsou nejen suroviny pro složení betonu, doprava a výroba, ale také užívání hotové betonové konstrukce, likvidace a recyklace. Fáze užívání betonových prefabrikovaných výrobků není v dalších fázích studie uváděna vzhledem k povaze a stanoveným cílům této práce. Užívání prefabrikátů z konvenčních betonů a z green betonů se nijak neliší.

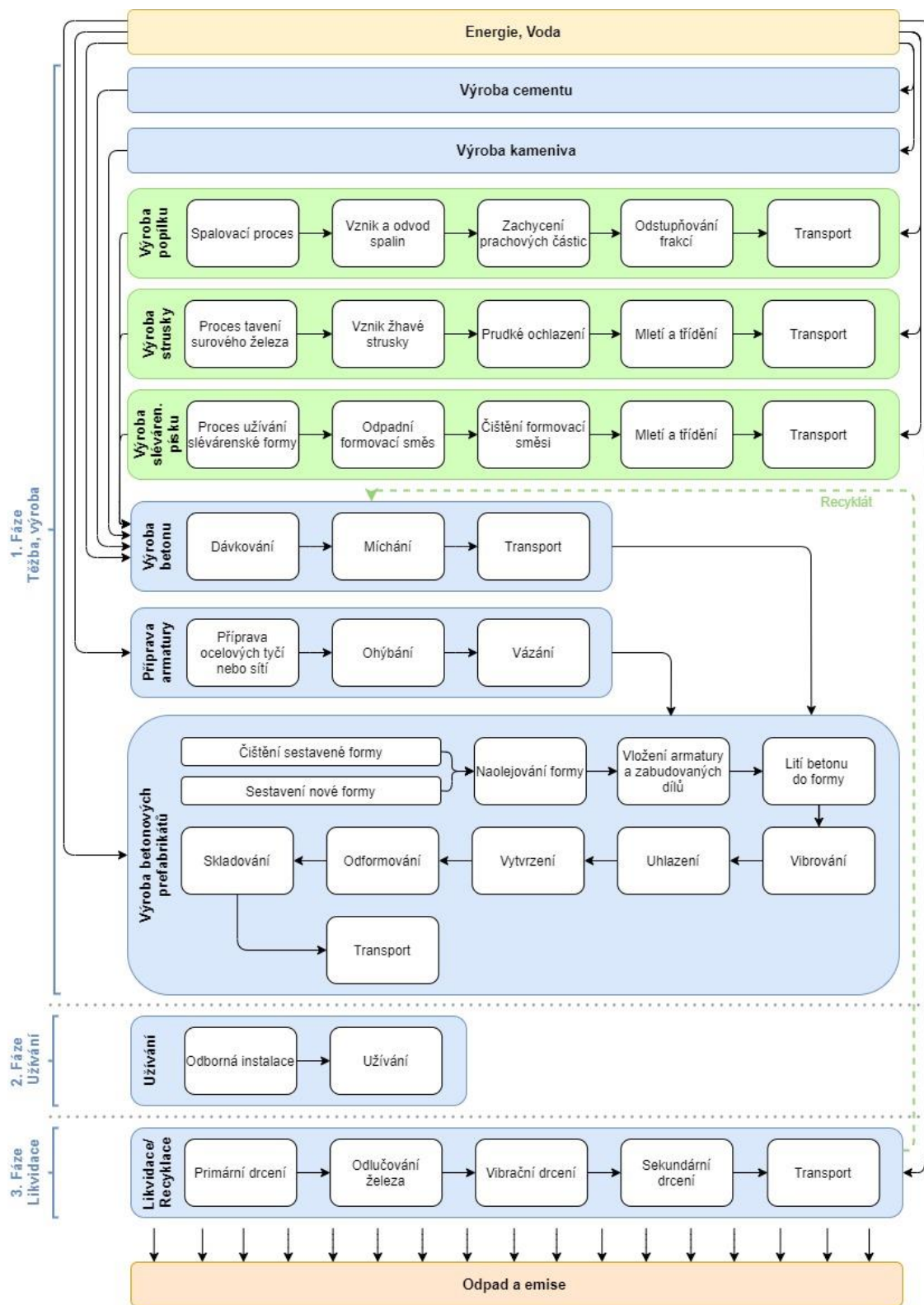
Společnost disponuje opakovaně použitelným ocelovým bedněním, a tak lze životnost formy v praxi považovat za téměř nekonečnou, jelikož nemusí docházet k časté výměně. Z tohoto důvodu nebudou samotné formovací prvky zahrnuty do posouzení životního cyklu. Stejně tak bude zanedbáno použití zabudovaných dílů vzhledem k tomu, že současné znalosti v oblasti technologie nenabízí žádné alternativní řešení.

LCA schéma bylo vytvořeno za účelem získání přehledu o uvažovaných procesech a tocích. Z tohoto diagramu vyplývají data a vzájemné vztahy, které byly shromážděny a dále použity pro inventarizační analýzu.



Obrázek 19: Hranice systému - konvenční beton

Schéma zahrnující výrobu ekologických variant vstupních surovin. Výrobní proces je rozšířen o výrobu popílku, ocelářské strusky a slévárenského písku.



Obrázek 20: Hranice systému - ekologická varianta betonu

7.3.1 Fáze životního cyklu prefabrikátů z konvenčního betonu

1. Fáze – Těžba surovin, výroba

V této fázi je zahrnuta těžba vstupních surovin jako cementu a kameniva, následná výroba armatury a betonové směsi a na závěr výroba konečného produktu – železobetonového prefabrikátu. Veškerý vstupní materiál je nakupován. Ve společnosti MABA Prefa poté dochází k sestavení forem a armatury, výrobě betonové směsi a zhotovení prefabrikátů.

2. Fáze – Užívání

Počáteční fází užívání je samotná odborná instalace prefabrikátů, která se provádí v místě stavby. Druhou částí je provoz/užívání hotových stavebních celků. Třetí část zahrnuje demontáž, popřípadě demolici.

3. Fáze – Likvidace/recyklace

Doba životnosti betonových prefabrikátů je velmi vysoká. Po uplynutí této doby či v případě potřeby dochází ke zmiňované demontáži či demolici a následné likvidaci sutin. Pokud existuje možnost recyklace, dochází k recyklaci betonových prvků a výsledný recyklát nahrazuje část kameniva při výrobě nového betonu.

7.3.2 Fáze životního cyklu prefabrikátů z green betonu

1. Fáze – Těžba surovin, výroba

V této fázi je zahrnuta těžba surovin a výroba vstupního materiálu, následná výroba armatury a betonové směsi a na závěr výroba konečného produktu – železobetonového prefabrikátu. V případě výroby green betonu jsou vstupní suroviny a materiál jako kamenivo a cement doplněny o popílek, ocelářenskou strusku a slévárenský písek. Tyto složky jsou odpadními produkty jiných průmyslových procesů. Veškerý vstupní materiál je nakupován. Ve společnosti MABA Prefa poté dochází k sestavení forem a armatury, výrobě betonové směsi a zhotovení prefabrikátů.

2. Fáze – Užívání

Počáteční fází užívání je samotná odborná instalace prefabrikátů, která se provádí v místě stavby. Druhou částí je provoz/užívání hotových stavebních celků. Třetí část zahrnuje demontáž, popřípadě demolici.

3. Fáze – Likvidace/recyklace

Doba životnosti betonových prefabrikátů je velmi vysoká. Po uplynutí této doby či v případě potřeby dochází ke zmiňované demontáži či demolici a následné likvidaci sutin. Pokud existuje možnost recyklace, dochází k recyklaci betonových prvků a výsledný recyklát nahrazuje část kameniva při výrobě nového betonu.

7.4 Inventarizační analýza

V rámci inventarizační analýzy budou shromážděna vstupní data potřebná ke stanovení vlivu produktu na životní prostředí v celém jeho životním cyklu. Potřebná data sestávají z materiálových a energetických vstupů, kterými jsou například spotřeba surovin, materiálů, energie a dopravy. Přehled uvažovaných procesů je zobrazen v následující tabulce.

Tabulka 6: Procesy použité pro sestavení LCA

Procesy	Výstupní množství
Produkce surovin	[kg/m ³]
Produkce betonové směsi	[kg/m ³]
Produkce výztuže	[kg/m ³]
Transport	[tkm]
Spotřeba energie	[MWh]
Spotřeba vody	[m ³]

7.4.1 Betonová směs

Beton obecně nemá pouze jednu variantu dopadu na životní prostředí. Naopak zátěž na životní prostředí záleží na konkrétní směsi, typu betonového prvku a dalších vlastnostech jako je například potřebná nosnost.

Pro účely analýzy budou použita poskytnutá data dvou konkrétních receptur zastupujících vždy příslušný typ betonové směsi. Jedná se o beton s označením C 25/30 XF3-1, který je zástupcem konvenčního hojně užívaného betonu a beton C 30/37 XF4-66, který zastupuje konvenční betonové směsi obsahující popílek. Hodnoty týkající se ekologických surovin budou čerpány ze studie provedené v rámci Slovinského národního institutu pro stavební inženýrství [12]. Tato studie obsahuje data o složení konvenčních a green betonových směsí. V obou případech se jedná o betonové směsi se střední hodnotou pevnosti v tlaku tak, aby byly výsledné hodnoty dobře porovnatelné.

Tabulka 7: Přehled složení jednotlivých betonových směsí

Suroviny	Beton C 25/30 XF3-1	Beton C 30/37 XF4-66	Beton na bázi recyklátu	Beton na bázi popílku	Beton na bázi slévárenského písku	Beton na bázi ocelárenské strusky
Cement [kg/m ³]	350,00	400,00	320,00	240,00	280,00	320,00
Kamenivo [kg/m ³]	1 720,00	1 490,00	1 315,00	1 867,00	1 660,00	1 771,00
Voda [kg/m ³]	160,00	185,00	183,00	174,00	164,00	190,00
Plastifikátor [kg/m ³]	2,50	4,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Recyklát [kg/m ³]	/	/	564,00	/	/	/
Popílek [kg/m ³]	/	130,00	/	80,00	/	/
Ocelárenská struska [kg/m ³]	/	/	/	/	/	106,00
Slévárenský písek [kg/m ³]	/	/	/	/	293,00	/
Celková hmotnost [kg/m³]	2 232,50	2 209,00	2 384,00	2 363,00	2 399,00	2 389,00

7.4.2 Výztuž

Množství výztuže používané pro výrobu železobetonových prvků z výše uvedených betonových směsí bude stanoveno s ohledem na požadavky softwaru SimaPro. Jako výztuž se v železobetonových prefabrikátech běžně používají ocelové tyče zvané roxory nebo ocelové kari sítě. Vzhledem k materiálové povaze obou elementů

dojde ke zjednodušení. Výztuž bude do softwaru zadávána v podobě počtu kilogramů ocele na 1 m³ produktu. V případě betonových směsí C 25/30 XF3-1 a C30/37 XF4-66, jakožto zástupců směsí vyráběných společnostmi MABA Prefa jsou známy výsledné produkty, na základě čehož bude přímo stanoveno množství použité výztuže. V případě ekologických variant bude množství výztuže stanoveno orientačně na základě literárního zdroje [3], který uvádí, že uvažované ekologické varianty betonových směsí odpovídají betonu C25/30 XC3, ze kterého jsou obvykle vyráběny stropní či nosné stěnové panely.

Tabulka 8: Přehled množství výztužné oceli

Prvky	Beton C 25/30 XF3-1	Beton C 30/37 XF4-66	Beton na bázi recyklátu	Beton na bázi popílku	Beton na bázi slévárenského písku	Beton na bázi ocelárenské strusky
Silniční panel [m ³]	1,268	/	/	/	/	/
Grefa [m ³]	/	1,400	/	/	/	/
NZD panel [m ³]	/	/	1,231	1,231	1,231	1,231
Ocel [kg/výrobek]	41,817	103,435	82,716	82,716	82,716	82,716
Hmotnost oceli [kg/m³]	32,979	73,882	67,194	67,194	67,194	67,194
Prostřih [m ³]	9,894	22,165	20,158	20,158	20,158	20,158
Hmotnost oceli použité ve výrobku [kg/m ³]	23,085	51,717	47,036	47,036	47,036	47,036

Pozn.: NZD panel = nosný stěnový panel

7.4.3 Transport

Transport surovin i finálních produktů probíhá formou přepravy nákladními automobily. V ojedinělých případech mohou být přepravovány po železnici. Transport v rámci celého životního cyklu výrobku můžeme dělit na transport surovin od dodavatele, transport mezi závody a transport hotových stavebních prvků na místo stavby. Dopady na životní prostředí vlivem automobilové dopavy se stanovují na základě tunového kilometru (tkm). Ten představuje přepravu jedné tuny zboží na jeden kilometr.

$$\text{počet tkm} = \text{přepavní vzdálenost} * \text{hmotnost nákladu}$$

Následující tabulka zobrazuje přehled průměrných vzdáleností všech uskutečněných transportů jak v rámci samotné společnosti, tak v rámci dodavatelsko-odběratelských vztahů.

Tabulka 9: Přehled transportních vzdáleností

	Beton C 25/30 XF3-1	Beton C 30/37 XF4-66	Beton na bázi recyklátu	Beton na bázi popílku	Beton na bázi slévárenského písku	Beton na bázi ocelové strusky
Hmotnost 1 m ³ [t]	2,23	2,21	2,38	2,36	2,40	2,39
Průměrná přepravní vzdálenost surovin [km]	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Počet tkm [tkm]	66,98	66,27	71,52	70,89	71,97	71,67
Průměrná přepravní vzdálenost v rámci podniku [km]	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Počet tkm v rámci podniku [tkm]	6,70	6,63	7,15	7,09	7,20	7,17
Průměrná přepravní vzdálenost hotových výrobků [km]	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00
Počet tkm [tkm]	156,28	154,63	166,88	165,41	167,93	167,23

7.4.4 Energie a voda

Proces výroby železobetonových prefabrikátů je neodmyslitelně doprovázen spotřebou energie a vody. V následující tabulce je zachycen přehled průměrné spotřeby záměsové vody, vody, elektřiny a plynu na 1 m³ betonu. Voda je zde uvedena ve smyslu vody používané na oplach a čištění, zatímco záměsová voda je přímo součástí betonové směsi. Možnosti přístupu ke spotřebě a recyklaci vody byly shrnuty již v kapitole 5.1.4. Co se týče výroby a spotřeby elektřiny, tak existují ekologické varianty, které kombinují elektřinu získanou z vodní energie, jaderné energie, fotovoltaických zařízení či větrné energie.

Tabulka 10: Přehled průměrné spotřeby energie na 1 m³ betonu

	Beton 1 m ³
Záměsová voda [m ³]	0,146
Voda [m ³]	0,508
Elektřina [MWh]	0,038
Plyn [m ³]	5,134

7.5 Hodnocení dopadů

Hodnocení dopadů bylo provedeno za pomoci softwaru SimaPro 8.3.0.0. Hlavní zvolenou metodou byl Impact 2002+. Konkrétně metoda Impact 2002+ využívá čtrnácti midpointových a čtyřech endpointových indikátorů charakterizačních modelů a kombinuje jejich výhody. Kategorie midpointů zahrnuje například toxicitu na lidské zdraví, která se dále dělí na karcinogeny a nekarcinogeny, dále obsahuje respirační onemocnění způsobené anorganickými látkami, ionizační záření, úbytek ozónové vrstvy, respirační onemocnění způsobené organickými látkami, ekotoxicitu vod, půdní ekotoxicitu, acidifikaci a eutrofizaci půd, užívání půdy, acidifikaci vod, eutrofizaci vod, globální oteplování, energii z neobnovitelných zdrojů a těžbu surovin. Do kategorie endpointů potom patří lidské zdraví, kvalita ekosystému, klimatické změny a zdroje.

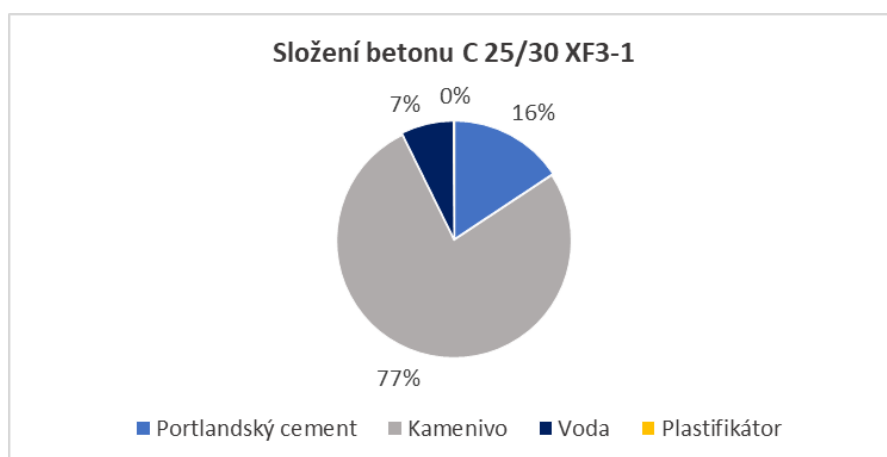
Jako první byly vyhodnoceny dopady jednotlivých variant složení betonových směsí. Zde byl totiž předpokládán největší rozdíl mezi dopady konvenčního složení a dopady ekologického složení betonových směsí. Složení betonových směsí je zároveň nejvýznamnější z hlediska dopadů na životní prostředí a nabízí nejvíce alternativních řešení. Všechny možné varianty směsí byly nejdříve vyhodnoceny samostatně a následně vzájemně porovnány. Na závěr bude uvedeno vyhodnocení, které směsi mají v celém životním cyklu nejnižší dopady na životní prostředí. Poté se stejným způsobem vyhodnotí dopady spojené se spotřebou energie a vody a transportem.

Výsledky byly vyexportovány ze softwaru SimaPro a převedeny do grafů pro lepší přehlednost a interpretaci. Indikátory, které spadají do kategorie midpointů byly ve většině případů vyjádřeny pomocí charakterizace a jsou v procentuálním poměru. Endpointové indikátory jsou normalizovány.

7.5.1 Dopady výroby betonových směsí

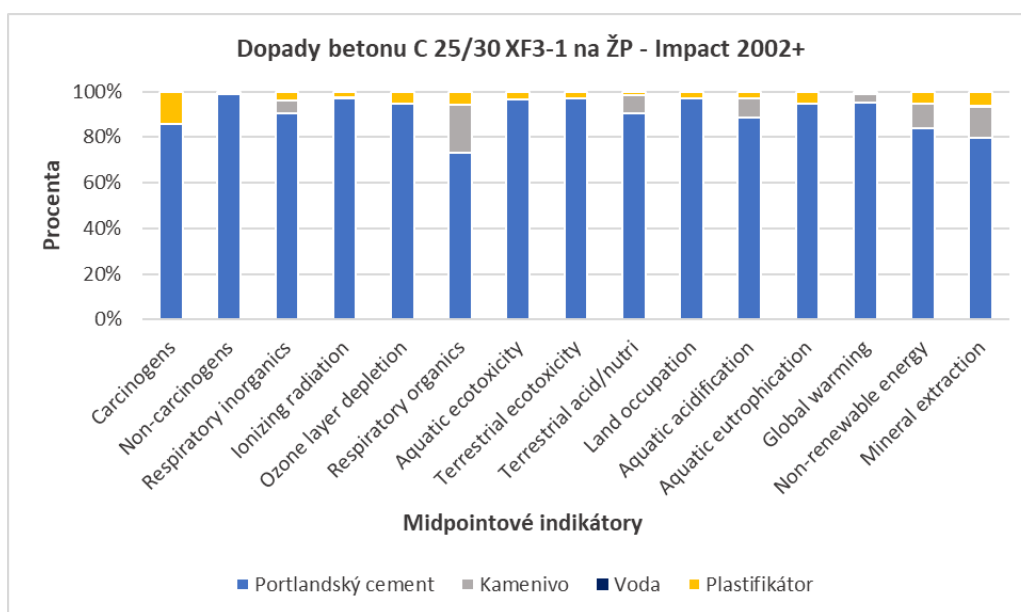
V následujících grafech jsou zobrazeny výsledky dopadů jednotlivých betonových směsí. Vždy je nejprve uvedeno procentuální složení příslušné směsi a následuje vyhodnocení dopadů konkrétních složek dané betonové směsi na životní prostředí. Výsledky jsou vztaženy na jeden metr krychlový betonového bloku. Všechny zmiňované směsi jsou zástupci betonů nižších tříd. Tyto betony nedosahují vysokých pevností v tlaku a nevykazují vysokou odolnost vůči vlivu agresivního prostředí. Výsledné betonové prvky zhotovené z těchto směsí by měly disponovat srovnatelnými vlastnostmi.

Prvním zástupcem betonových směsí vyráběných ve společnosti MABA Prefa s.r.o. je beton C 25/30 XF3-1. Z grafu je patrné, že tento beton se skládá převážně z kameniva a cementu. To je způsobeno relativně nízkými požadavky na tuto směs. Není nutné, aby beton dosahoval vysoké pevnosti či odolnosti, a tudíž je zde použito pouze zanedbatelné množství plastifikátoru.



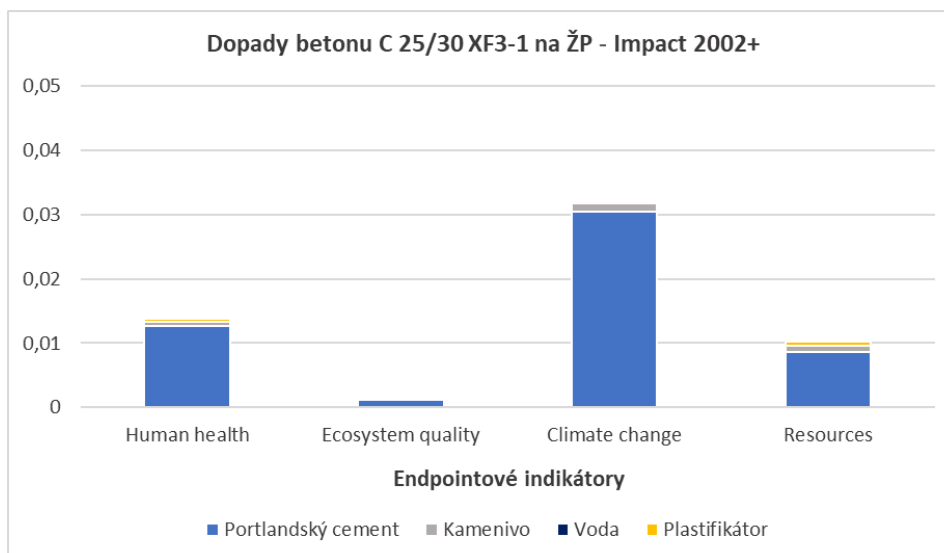
Graf 1: Složení betonu C 25/30 XF3-1

Další graf zobrazuje dopady výroby betonu C 25/30 XF3-1 na životní prostředí. Je zřejmé, že největší dopady v jednotlivých kategoriích dopadů má cement, který ve všech kategoriích suverénně přesahuje 70 %, v některých dosahuje téměř sta. Kamenivo a plastifikátor jsou potom dalšími složkami, které mají vliv na některé kategorie midpointových indikátorů. Například kamenivo se nejvýrazněji projevuje na respiračním onemocnění způsobeném organickými látkami. To je způsobeno vysokou prašností při těžbě a zpracování kameniva. Dále má podíl v kategorii energie z neobnovitelných zdrojů a těžba surovin. Přes své minimální zastoupení ve směsi má výrazný podíl v oblasti karcinogenů plastifikátor. Zde je důležité zmínit, že je potřeba vyvážit použití plastifikátoru, který snižuje spotřebu vody a cementu právě vzhledem k environmentálním dopadům. Voda z vodovodního řádu má v tomto případě naprosto zanedbatelný dopad na životní prostředí.



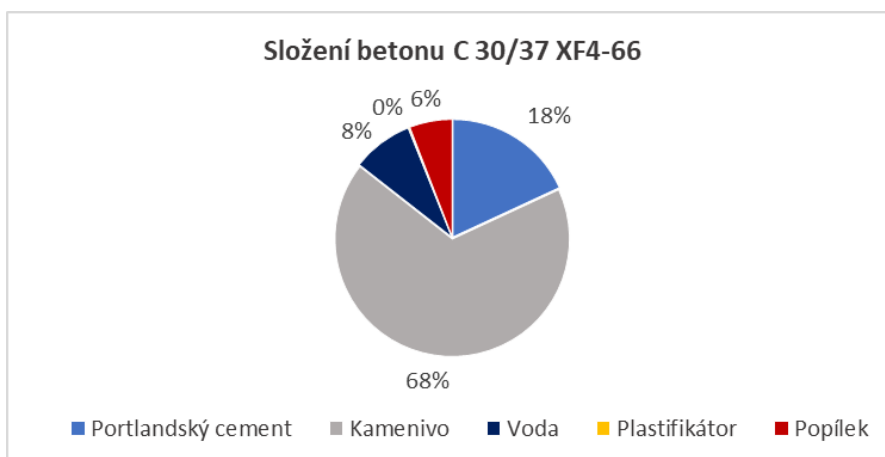
Graf 2: Dopady betonu C 25/30 XF3-1 na ŽP

Na následujícím grafu můžeme vidět čtyři endpointové indikátory, kdy nejvyšší dopady vyšly na oblast klimatických změn, a naopak nejnižší na oblast kvality ekosystému. Hodnoty endpointových indikátorů jsou normalizovány. To znamená, že jsou vztaženy k množství produkce emisí na světě, aby bylo možné interpretovat, ve kterých kategoriích jsou dopady na životní prostředí nejvyšší. Ve všech oblastech dominuje produkce cementu.



Graf 3: Dopady betonu C 25/30 XF3-1 na ŽP

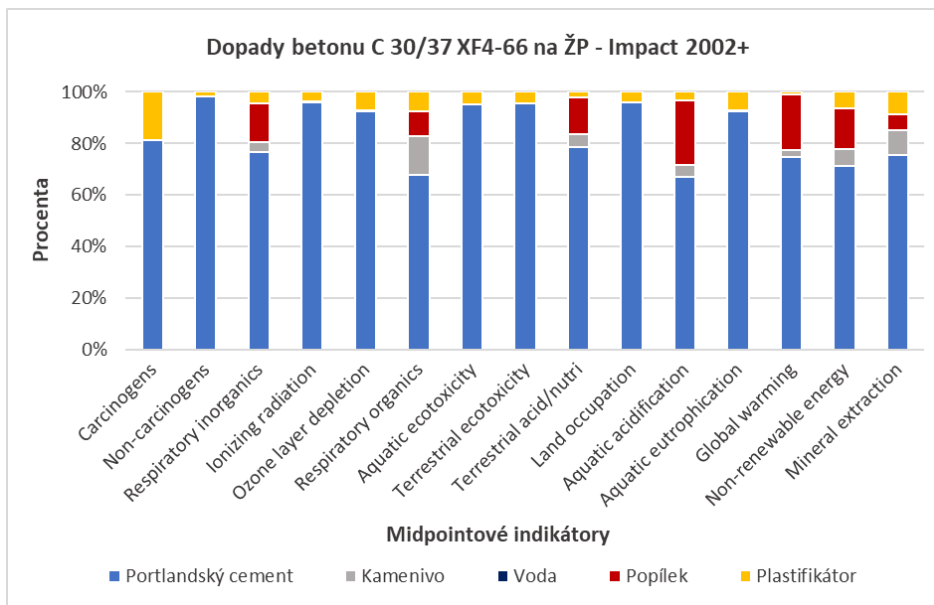
Druhým zástupcem betonových směsí vyráběných ve společnosti MABA Prefa s.r.o. je beton C 30/37 XF4-66, který navíc obsahuje popílek. Složení je velice podobné předchozí betonové směsi. Opět je patrné, že se beton skládá převážně z kameniva a cementu, který je v tomto případě obohacen právě o popílek. Vyšší podíl cementu a popílku se odráží v lehce sníženém množství kameniva. Obsah vody a plastifikátoru zůstává stejný.



Graf 4: Složení betonu C 30/37 XF4-66

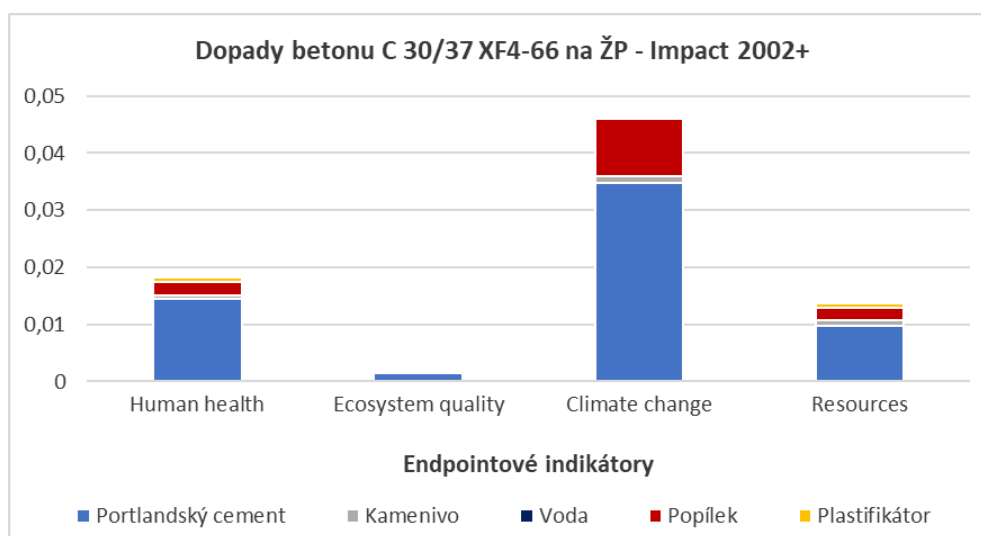
Na následujícím grafu vidíme, že proces recyklace popílku, přestože je odpadním materiálem jiného průmyslového procesu, má nezanedbatelný dopad téměř v polovině případů midpointových indikátorů. To znamená, že recyklace popílku má dopad na respirační onemocnění způsobené anorganickými a organickými látkami,

dále na acidifikaci půd a vod, na globální oteplování, energii z neobnovitelných zdrojů a těžbu surovin.



Graf 5: Dopady betonu C30/37 XF4-66 na ŽP

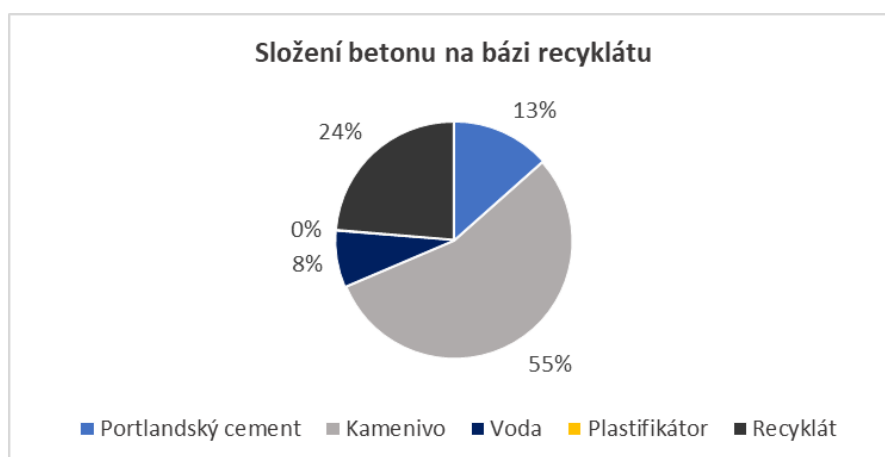
Na následujícím grafu můžeme opět vidět čtyři endpointové indikátory, kterými jsou lidské zdraví, kvalita ekosystému, klimatické změny a zdroje. Stejně jako v případě předchozí směsi má nejzásadnější dopad na všechny kategorie produkce cementu. Nejvyšší dopady vyšly na oblast klimatických změn, a naopak nejnižší na oblast kvality ekosystému. Navíc je zde zřetelně vidět dopad recyklace popílku. V případě klimatických změn je dopad jeho využití více než zřejmý.



Graf 6: Dopady betonu C30/37 XF4-66 na ŽP

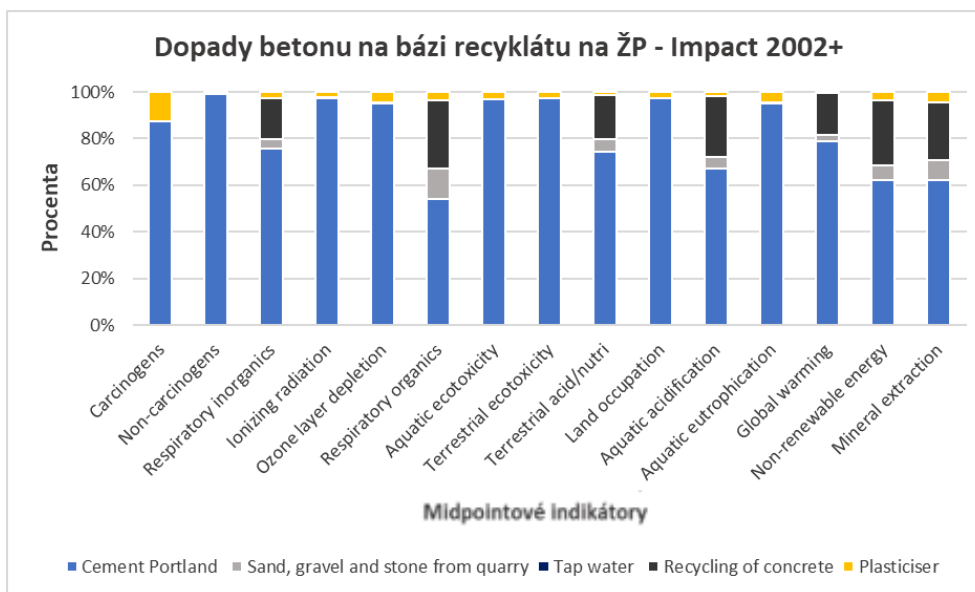
Na základě těchto výsledků můžeme říci, že recyklace odpadních materiálů jistě není zanedbatelným faktorem v oblasti dopadů na životní prostředí.

Další graf zobrazuje složení již jedné z ekologických variant betonových směsí uvedené v [3]. Je patrné, že vzhledem k použití betonového recyklátu jako náhrady přírodního kameniva poklesla spotřeba kameniva v průměru o 15 %. Současně s tím se snížil také objem cementu. Tento pokles souvisí se složením betonového recyklátu, který již určité procento cementu obsahuje. Jak již bylo uvedeno v kapitole 5.2.1. v současné chvíli betonový recyklát převážně nahrazuje pouze určitou část přírodního kameniva vzhledem k odlišnému složení a vlastnostem. Již ale existují případy, kdy jsou společnosti schopny plně nahradit přírodní kamenivo recyklátem.



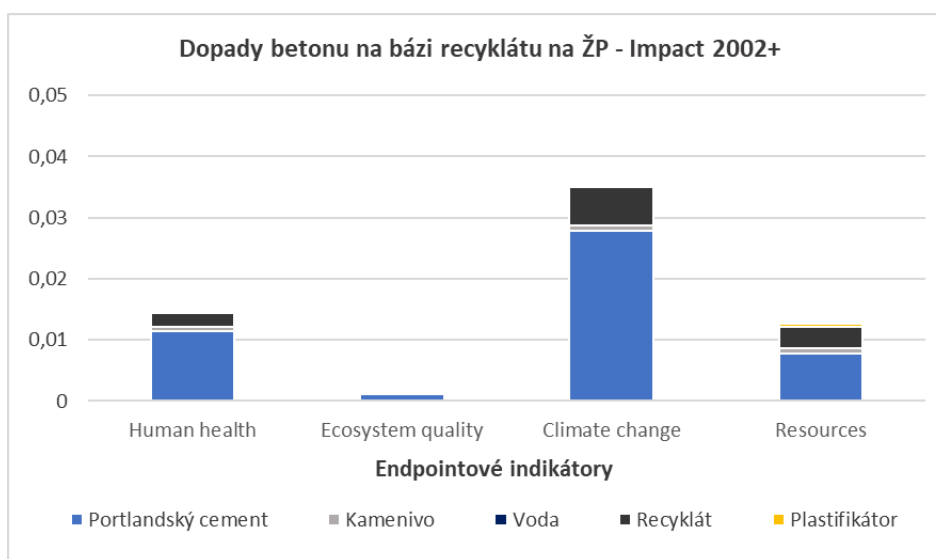
Graf 7: Složení betonu na bázi recyklátu

Opět můžeme v následujícím grafu vidět, že recyklace betonu má relativně výrazné dopady u poloviny midpointových indikátorů. Stejně jako v případě procesu recyklace popílku jsou zde více než patrné dopady v oblasti respiračního onemocnění způsobené anorganickými a organickými látkami, dále v oblasti acidifikace půd a vod, globálního oteplování, energií z neobnovitelných zdrojů a těžby surovin.



Graf 8: Dopady betonu na bázi recyklátu na ŽP

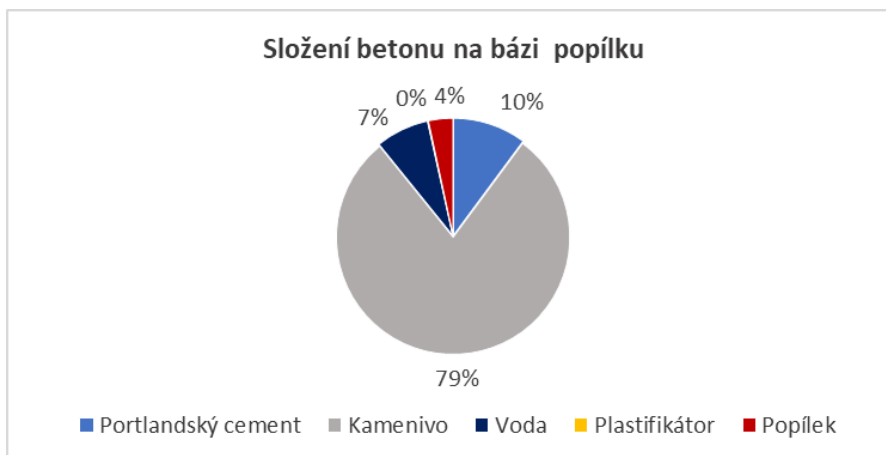
Zde je zřetelně vidět nižší hodnota dopadů na klimatické změny a zdroje především vzhledem k menší spotřebě cementu v této směsi. Zároveň si můžeme povšimnout, že dopady recyklace betonu jsou obdobné jako v případě recyklace popílku.



Graf 9: Dopady betonu na bázi recyklátu na ŽP

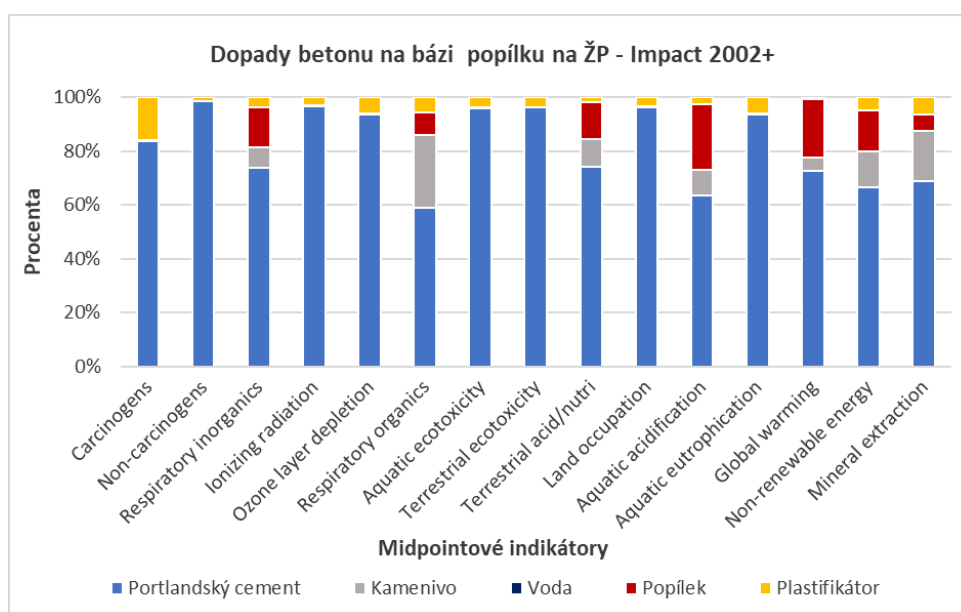
Další posuzovanou směsí je opět varianta s použitím popílku. Tentokrát je složení směsi převzato z již zmiňované studie [3]. Tato ekologická alternativa betonové směsi je zde zahrnuta především pro srovnání s podnikovou variantou. Překvapivě je ve složení této vzorové betonové směsi nižší podíl popílku než v případě

používané směsi ve společnost MABA Prefa. Tento rozdíl však tvoří pouhých 2 %. Přesto směs současně s nižším podílem popílku obsahuje také výrazně nižší podíl cementu. Pokles obsahu těchto surovin je kompenzován vyšším podílem přírodního kameniva.

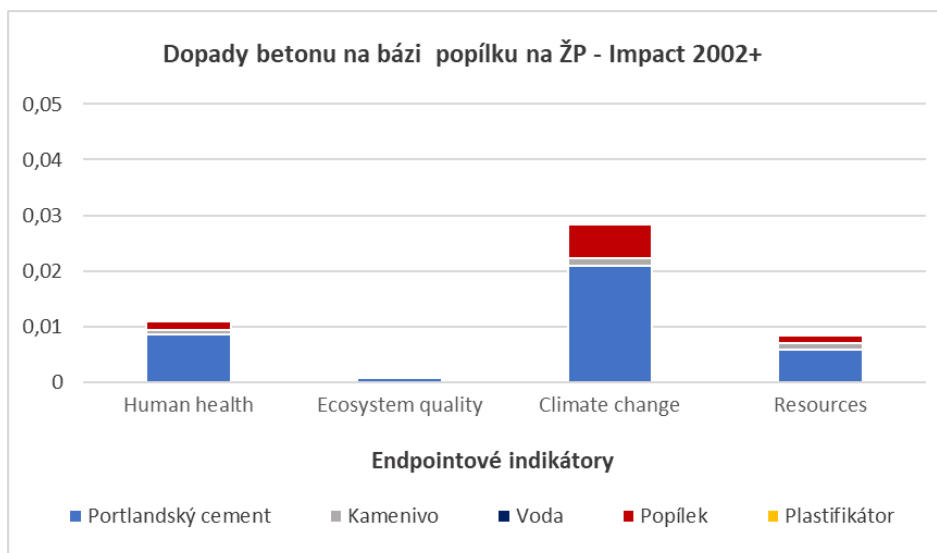


Graf 10: Složení betonu na bázi popílku

Na následujících dvou grafech jsou zobrazeny environmentální dopady této betonové směsi. Výsledky jsou obdobné jako v případě betonu C 30/37 XF4-66, nepatrné rozdíly jsou způsobeny pouze rozdílným procentuálním zastoupením jednotlivých surovin.

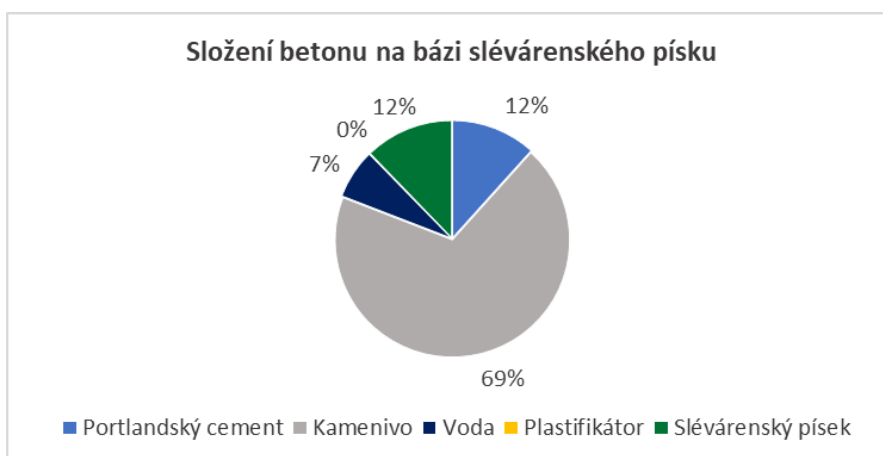


Graf 11: Dopady betonu na bázi popílku na ŽP



Graf 12: Dopady betonu na bázi popílku na ŽP

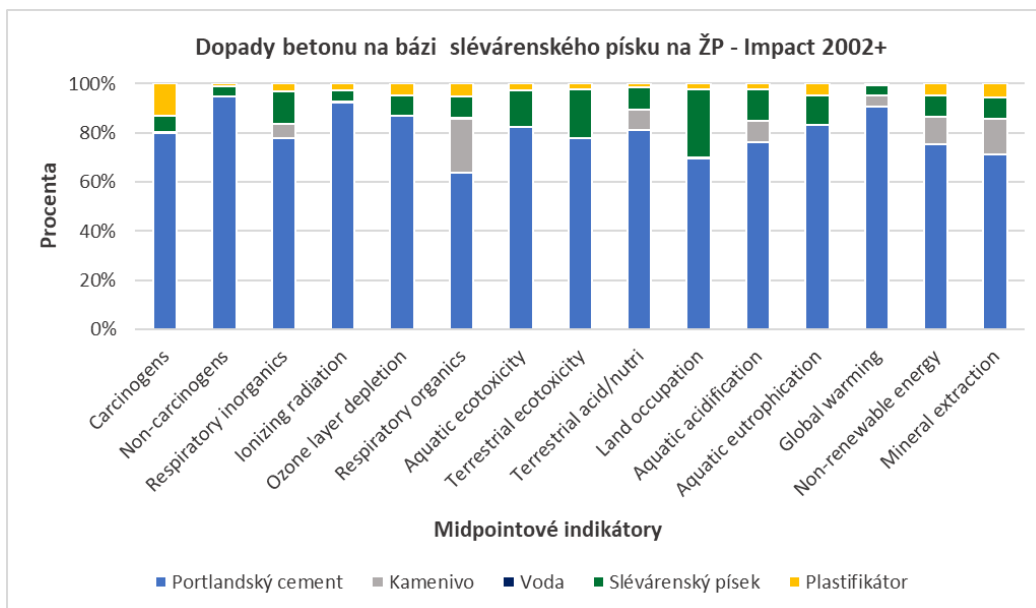
V dalším z grafů složení betonových směsí je znázorněno materiálové složení betonu na bázi slévárenského písku. Vzhledem ke znovupoužití slévárenského písku v betonové směsi došlo úměrně ke snížení podílu obsahu kameniva. Pojem kamenivo zde totiž zahrnuje také kamenivo jemné, tedy písek. Podíl cementu, vody a chemické přísady zůstává neměnný.



Graf 13: Složení betonu na bázi slévárenského písku

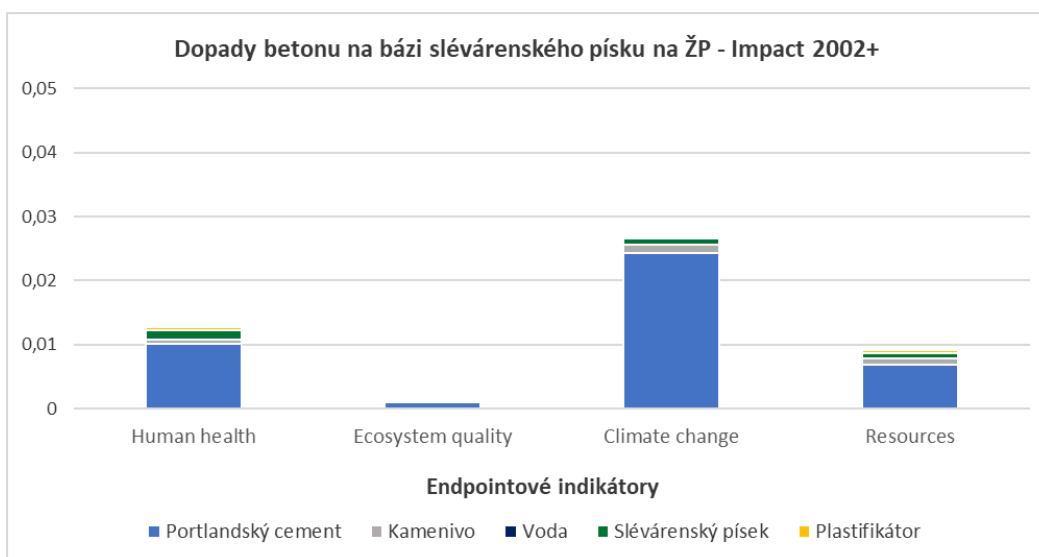
Co se týče dopadů recyklace slévárenského písku, tak v kategorii midpointových indikátorů dosahuje relativně vysokých hodnot. Znovuvyužití křemičitého písku s sebou nese v rámci výroby betonu nezanedbatelný vliv na všechny posuzované kategorie indikátorů. Z grafu je patrné, že největší vliv má na respirační onemocnění způsobené anorganickými látkami, ekotoxicitu vod a půdní

ekotoxicitu, dále má velmi výrazný vliv na užívání půdy a potom také na acidifikaci a eutrofizaci vod.



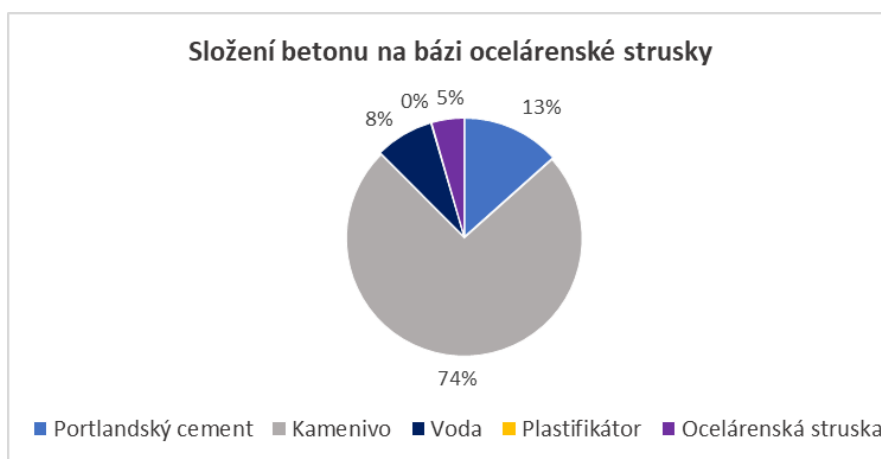
Graf 14: Dopady betonu na bázi slévárenského písku na ŽP

V grafu dopadů na kategorie endpointových indikátorů je zřejmě vidět, že vliv recyklace slévárenského písku na lidské zdraví, klimatické změny a zdroje je nižší než v případě recyklace popílku či betonu. V kategorii klimatických změn je dopad dokonce výrazně nižší než v případě alternativních ekologických variant.



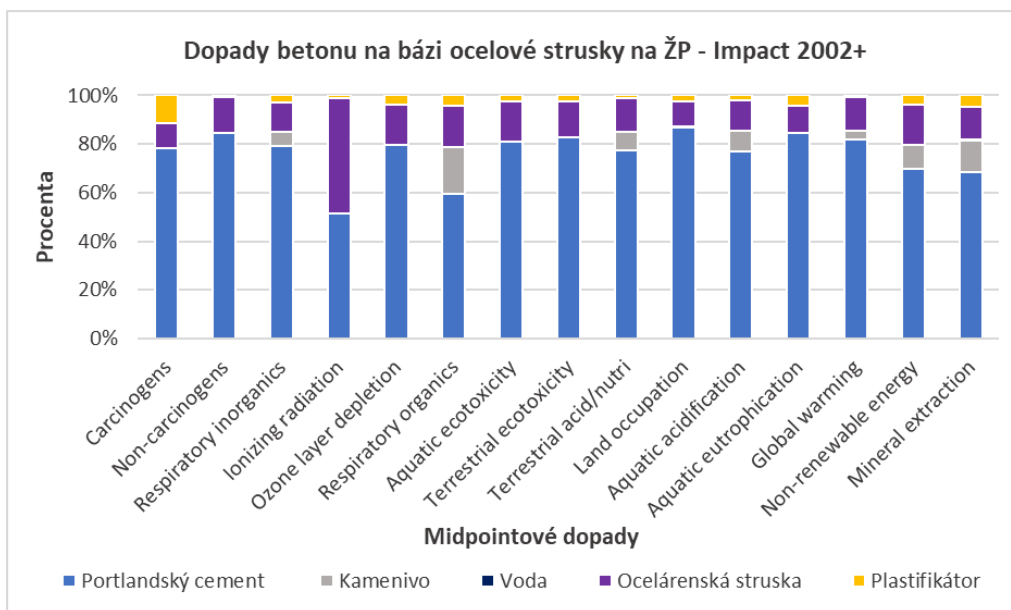
Graf 15: Dopady betonu na bázi slévárenského písku na ŽP

Posledním typem ekologických variant betonových směsí je beton na bázi ocelové strusky. Ta částečně nahrazuje použití cementu. Výhody spojené s užitím omezeného množství cementu jsou stejné jako v případě použití popílku. V tomto konkrétním případě je část cementu nahrazena pouhými 5 % ocelové strusky. Jedním z environmentálních cílů by mělo být postupné navyšování tohoto podílu.



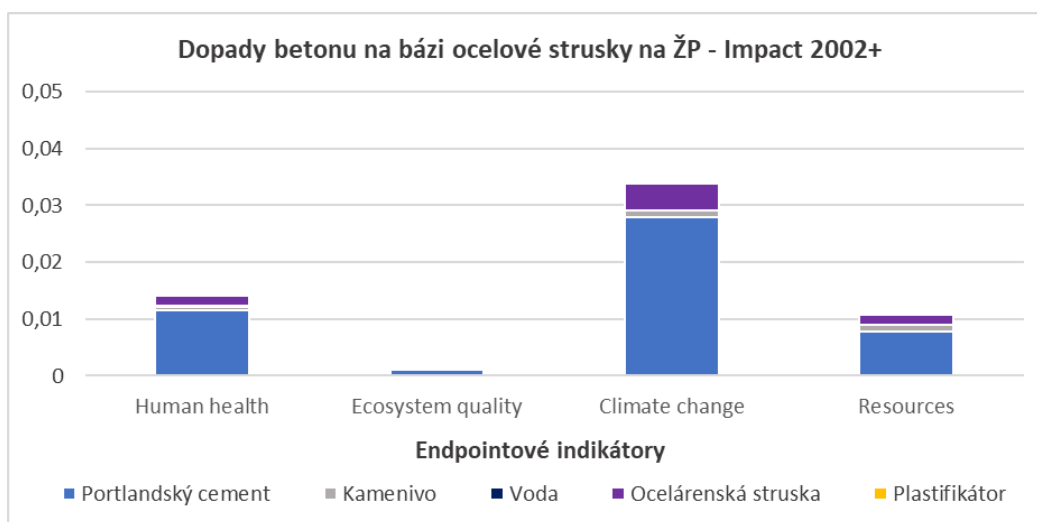
Graf 16: Složení betonu na bázi ocelové strusky

V následujícím grafu posouzení dopadů na jednotlivé kategorie midpointových indikátorů je možné vidět, že proces recyklace ocelové strusky je z hlediska životního prostředí nejnáročnějším procesem znovuvyužití odpadového materiálu. Recyklace ocelové strusky má významný vliv na všechny uváděné kategorie indikátorů. Vliv na životní prostředí je znatelně vyšší, než tomu bylo u recyklace popílku, betonu či slévárenského písku. Zásadně nejvyšší dopad má recyklace ocelové strusky v kategorii ionizačního záření. Podstatný vliv recyklace ocelové strusky na životní prostředí není překvapivým zjištěním. Již samotná výroba oceli je velmi náročným výrobním procesem nejen z energetického hlediska, a tudíž bylo možné očekávat, že v případě odpadového materiálu tomu nebude jinak.



Graf 17: Dopady betonu na bázi ocelové strusky na ŽP

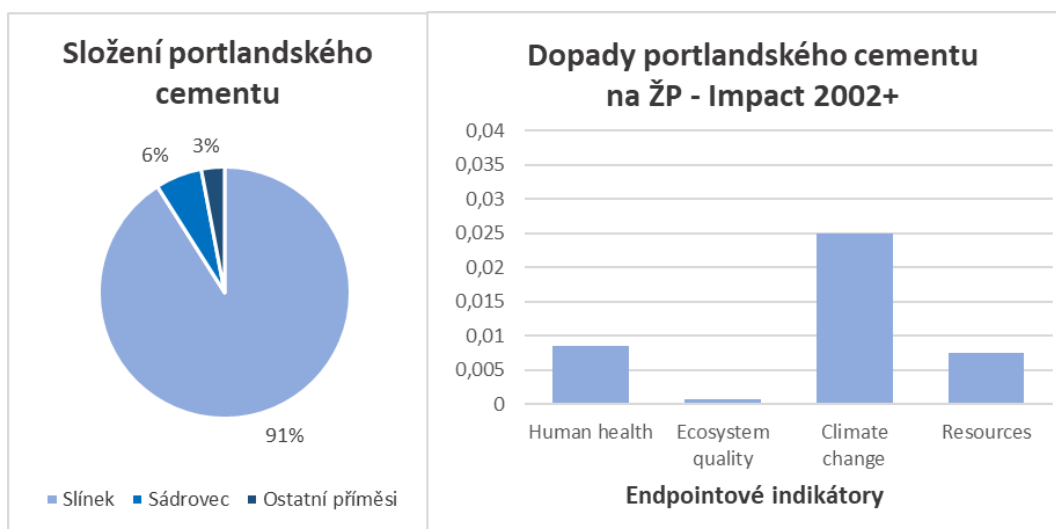
Z grafu endpointových indikátorů je patrné, že recyklace ocelové strusky má největší vliv na kategorii klimatických změn, stejně jako tomu bylo v případě betonu na bázi popílku a betonu na bázi recyklátu.



Graf 18: Dopady betonu na bázi ocelové strusky na ŽP

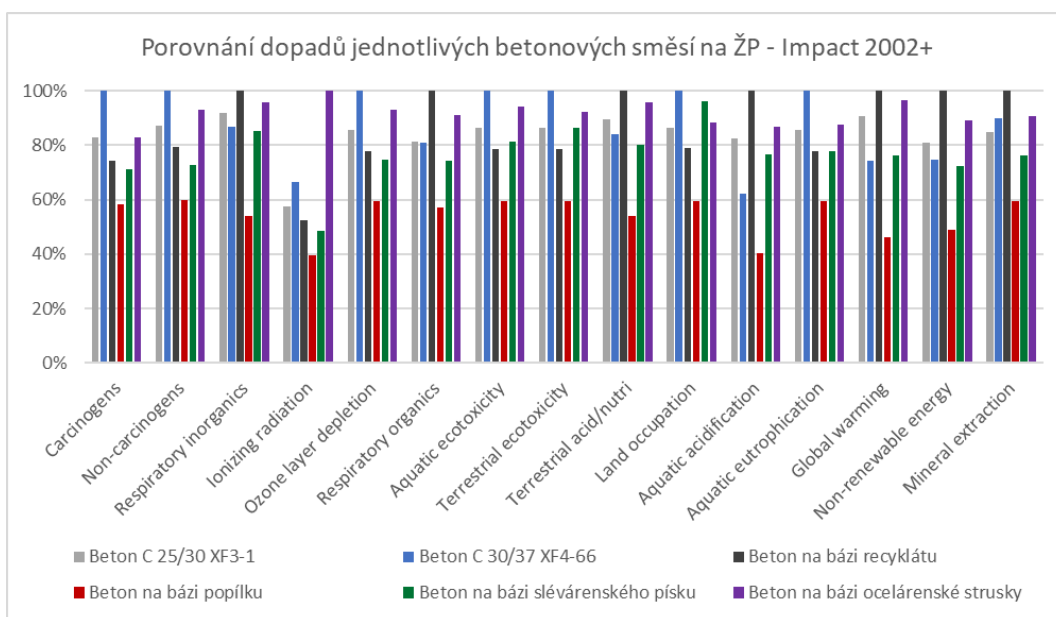
Následující dva grafy zobrazují složení portlandského cementu a dopady jeho produkce na životní prostředí. Je zde samostatně posouzen z důvodu nejvyššího podílu dopadů na životním prostředí. Produkce cementu má výrazný

environmentální vliv především na klimatické změny, což je současně značně diskutovaný světový problém, a tudíž je proces výroby silně regulován.

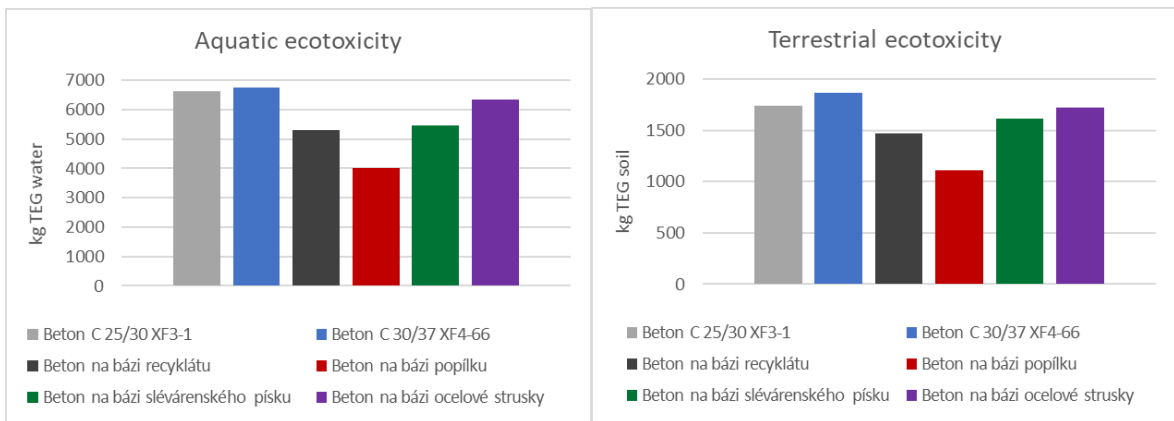
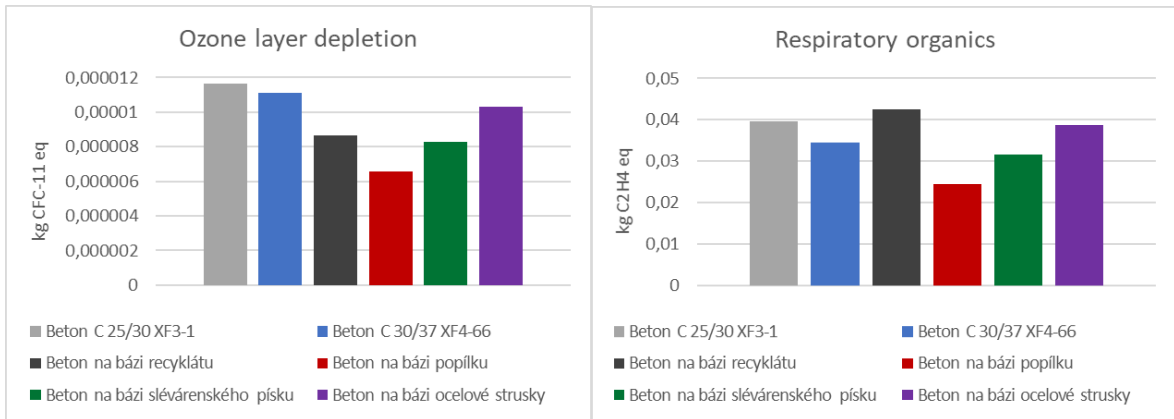
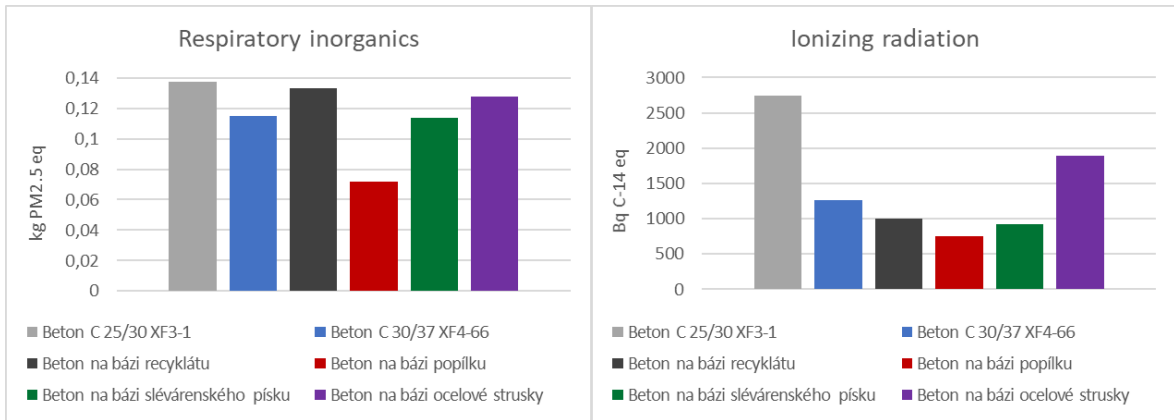
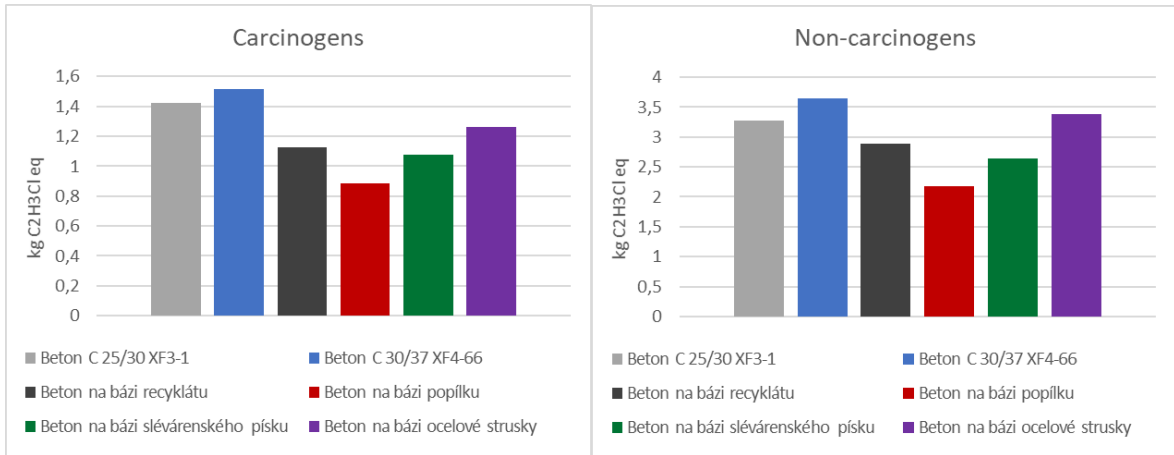


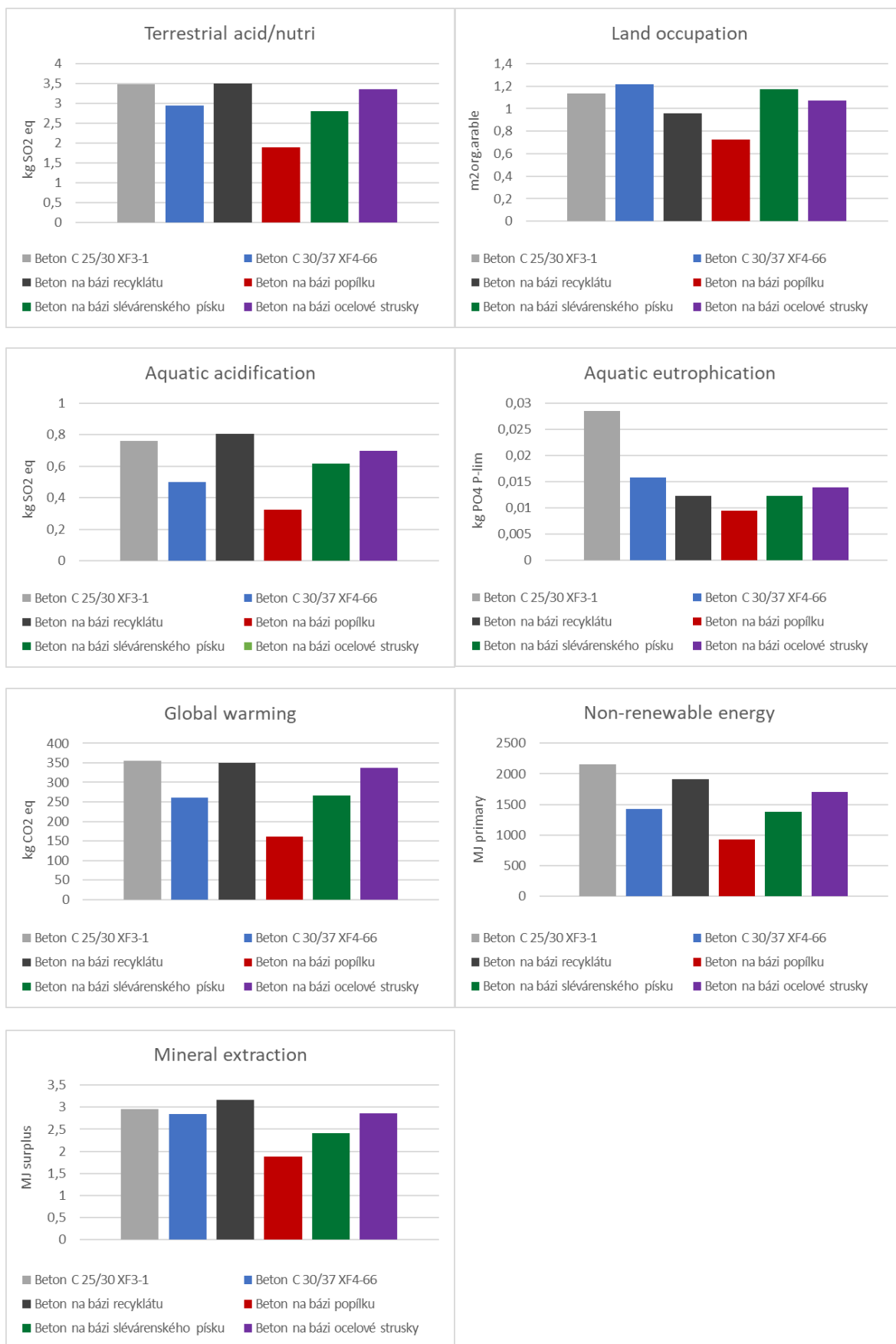
Graf 19: Složení a dopady portlandského cementu

V následujícím grafu je zobrazené celkové srovnání všech porovnávaných betonových směsí. Vzhledem k rozdílnosti jednotek jednotlivých kategorií dopadu jsou následně ke každé kategorii dopadu uvedeny samostatné grafy. Již z tohoto souhrnného grafu je patrné, že nejnižší potenciál zapříčinit posuzované kategorie dopadu má zcela jasně beton na bázi popílku.



Graf 20: Porovnání dopadů jednotlivých betonových směsí na ŽP



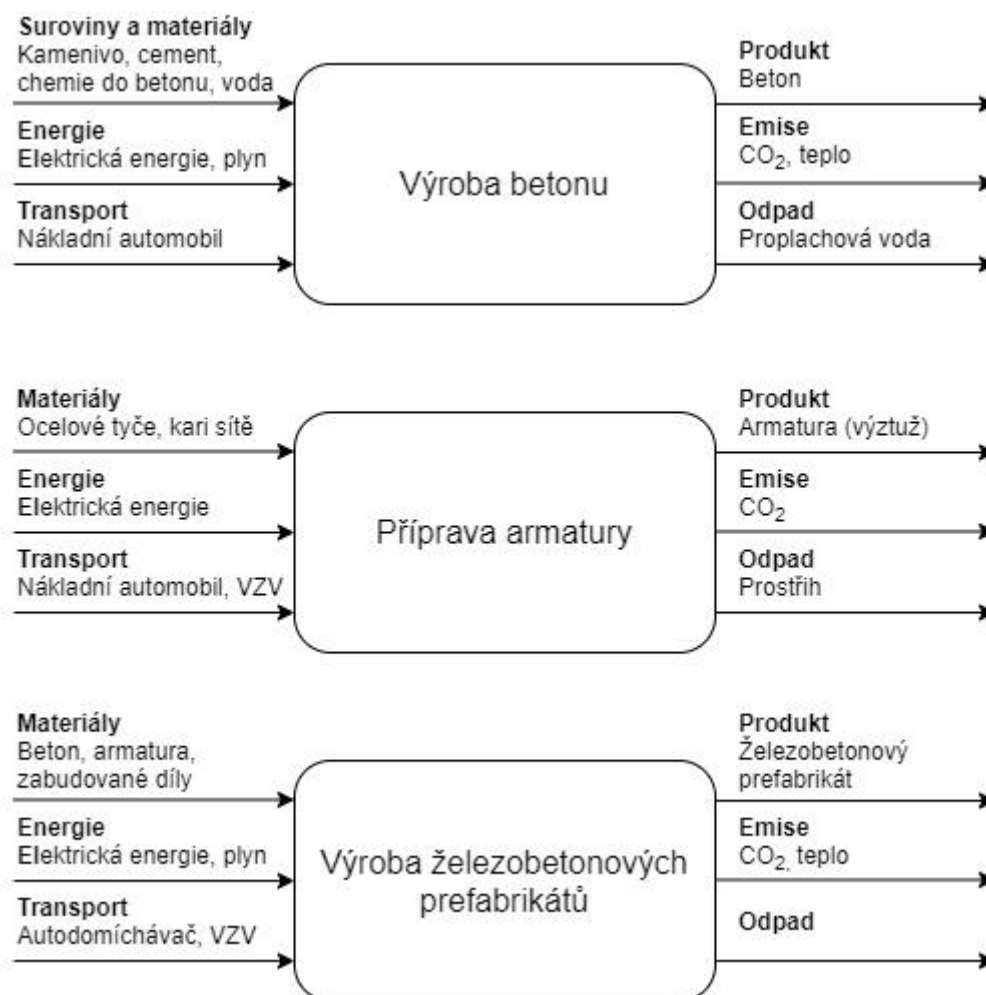


Graf 21: Jednotlivé kategorie dopadů betonových směsí na ŽP

Na základě údajů z výše uvedených grafů jednotlivých kategorií dopadu betonových směsí na životní prostředí je možné tvrdit, že v kategorii toxicita na lidské zdraví (human toxicity), která je dále rozdělena na karcinogeny (carcinogens) a nekarcinogeny (non-carcinogens) dosahuje nejvyšší hodnoty midpointového indikátoru směs C30/37 XF4-66 následována směsí C25/30 XF3-1 a směsí na bázi ocelářenské strusky. Naopak nejnižší hodnoty indikátoru dosahuje betonová směs na bázi popílku. Nízkých hodnot v kategorii toxicita na lidské zdraví dosahují také betonové směsi na bázi slévárenského písku a recyklátu. V kategorii respirační onemocnění způsobené anorganickými látkami (respiratory inorganics) má nejvyšší hodnotu indikátoru dopadu beton C25/30 XF3-1, beton na bázi recyklátu a beton na bázi ocelářenské strusky. Nejnižší hodnotu vykazuje opět beton na bázi popílku. Obdobné výsledky vycházejí v kategorii respirační onemocnění způsobené organickými látkami (respiratory organics) jen s tím rozdílem, že zde dosahuje nejvyšší hodnoty beton na bázi recyklátu. V případě kategorie dopadu ionizační záření (ionizing radiation) vykazuje výrazně nejvyšší potenciál směs C25/30 XF3-1, kterou následuje směs obsahující ocelářenskou strusku. Ostatní směsi pak vykazují velmi nízký potenciál produkce ionizačního záření, z nichž má nejnižší potenciál beton na bázi popílku. U kategorií dopadu úbytek ozónové vrstvy (ozone layer depletion), ekotoxikita vod (aquatic ecotoxicity), půdní ekotoxikita (terrestrial ecotoxicity) a eutrofizace vod (aquatic eutrophication) se výsledky opakují s tím, že směsi C25/30 XF3-1 a C30/37 XF4-66 dosahují nejvyšších hodnot a nejnižší hodnoty indikátoru kategorie dopadu vykazuje beton na bázi popílku. V případě kategorií acidifikace a eutrofizace půd (terrestrial acid/nutri), acidifikace vod (aquatic acidification), globální oteplování (global warming), energie z neobnovitelných zdrojů (non-renewable energy) a těžba surovin (mineral extraction) dosahují nejhorších výsledků z hlediska potenciálu zapříčiňovat danou kategorii dopadu beton C25/30 XF3-1 a beton na bázi recyklátu. Nejlepších výsledků dosahuje opět beton na bázi popílku. Jedinou kategorií dopadu, kdy nejhorší hodnoty vykazuje betonová směs C30/37 XF4-66 společně s betonovou směsí na bázi slévárenského písku je kategorie dopadu užívání půdy (land occupation).

7.5.2 Dopady výrobního procesu prefabrikátů

V této fázi dochází k hodnocení celého výrobního procesu železobetonových prefabrikátů. Níže uvedené schéma znázorňuje uvažované procesy současně s příslušnými vstupy a výstupy. Výsledné produkty z uváděných betonových směsí jsou vyráběny pomocí opakovatelně použitelných forem a z toho důvodu není ve výrobním procesu výroba forem zahrnuta. Jedná se o ocelové konstrukce, které se dlouhodobě využívají pro výrobu sériových prvků. Uvedené vstupy budou zpracovány prostřednictvím softwaru Simapro. Na základě výstupů analýzy budou zhodnoceny dopady jak vstupních surovin a materiálů, tak spotřebované energie, transportu a odpadních materiálů.

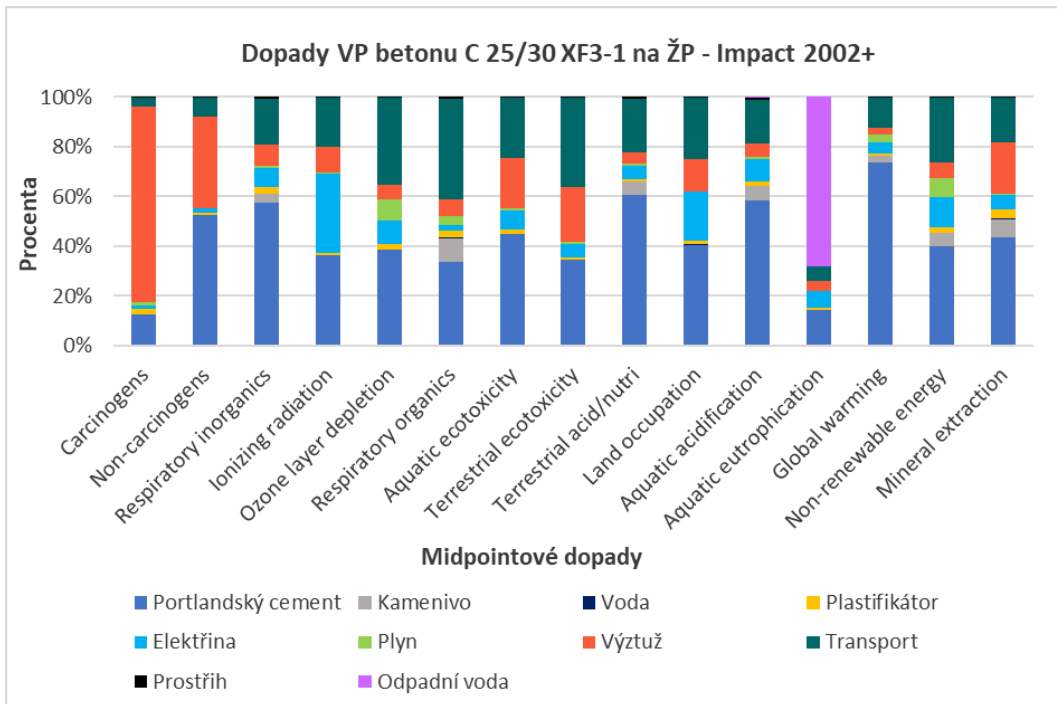


Obrázek 21: Schéma vstupů a výstupů výrobního procesu prefabrikátů

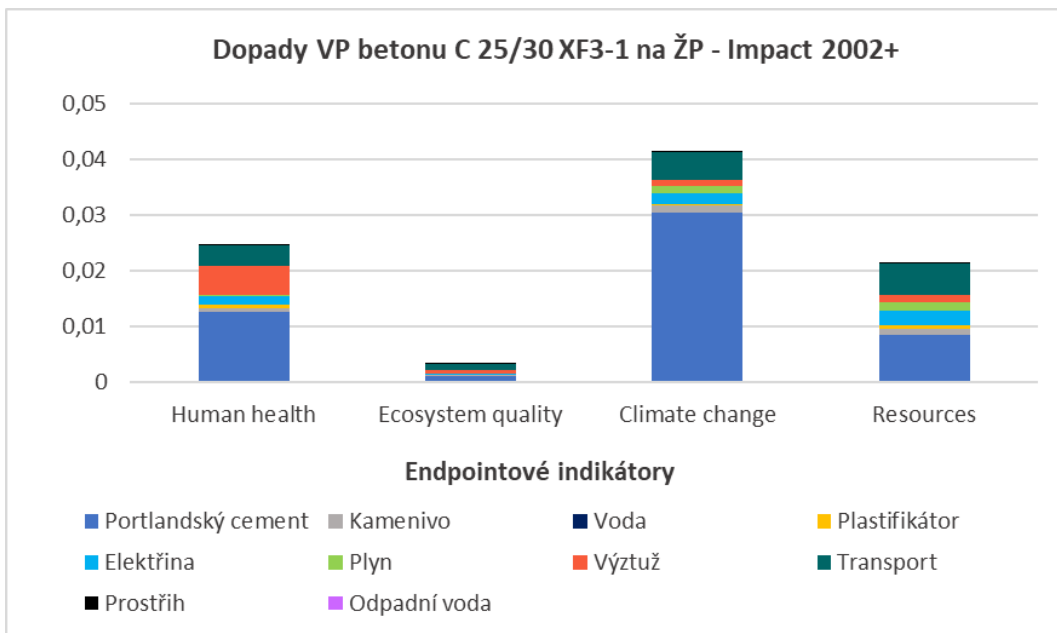
V následující tabulce jsou uvedena konkrétní množství jednotlivých vstupů vstupujících do výrobního procesu a odpadů. Uvedené údaje jsou souhrnným výstupem jednotlivých částí inventarizační analýzy.

Tabulka 11: Přehled konkrétních množství vstupů a výstupů výrobního procesu

Vstupy	Množství	Jednotka
Betonová směs		
<i>Beton C 25/30 XF3-1</i>	2 232,50	[kg/m ³]
<i>Beton C 30/37 XF4-66</i>	2 209,00	[kg/m ³]
<i>Beton na bázi recyklátu</i>	2 384,00	[kg/m ³]
<i>Beton na bázi popílku</i>	2 363,00	[kg/m ³]
<i>Beton na bázi slévárenského písku</i>	2 399,00	[kg/m ³]
<i>Beton na bázi ocelárenské strusky</i>	2 389,00	[kg/m ³]
Výztuž		
<i>Beton C 25/30 XF3-1</i>	23,09	[kg/m ³]
<i>Beton C 30/37 XF4-66</i>	51,72	[kg/m ³]
<i>Beton na bázi recyklátu</i>	47,04	[kg/m ³]
<i>Beton na bázi popílku</i>	47,04	[kg/m ³]
<i>Beton na bázi slévárenského písku</i>	47,04	[kg/m ³]
<i>Beton na bázi ocelárenské strusky</i>	47,04	[kg/m ³]
Transport		
<i>Beton C 25/30 XF3-1</i>	229,96	[tkm]
<i>Beton C 30/37 XF4-66</i>	227,53	[tkm]
<i>Beton na bázi recyklátu</i>	245,55	[tkm]
<i>Beton na bázi popílku</i>	243,39	[tkm]
<i>Beton na bázi slévárenského písku</i>	247,10	[tkm]
<i>Beton na bázi ocelárenské strusky</i>	246,07	[tkm]
Energie		
Elektřina	0,04	[MWh/m ³]
Plyn	5,13	[m ³]
Odpad – prostřih		
<i>Beton C 25/30 XF3-1</i>	9,89	[kg/m ³]
<i>Beton C 30/37 XF4-66</i>	22,17	[kg/m ³]
<i>Beton na bázi recyklátu</i>	20,16	[kg/m ³]
<i>Beton na bázi popílku</i>	20,16	[kg/m ³]
<i>Beton na bázi slévárenského písku</i>	20,16	[kg/m ³]
<i>Beton na bázi ocelárenské strusky</i>	20,16	[kg/m ³]
Odpad – voda proplachová	0,51	[m ³]



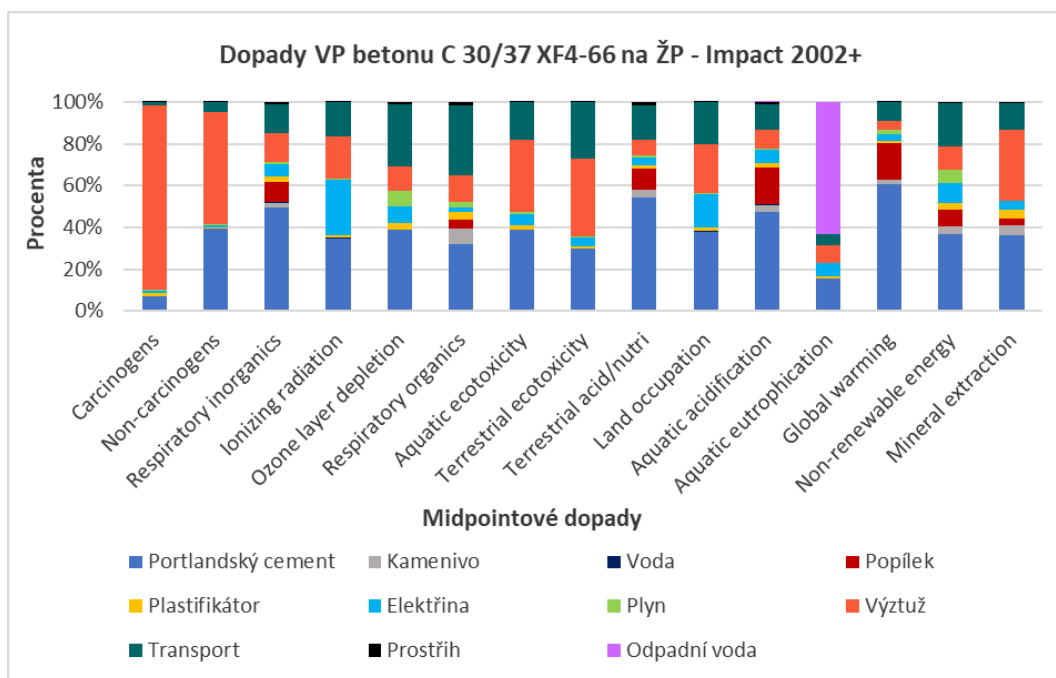
Graf 22: Dopady VP betonu C 25/30 XF3-1 na ŽP



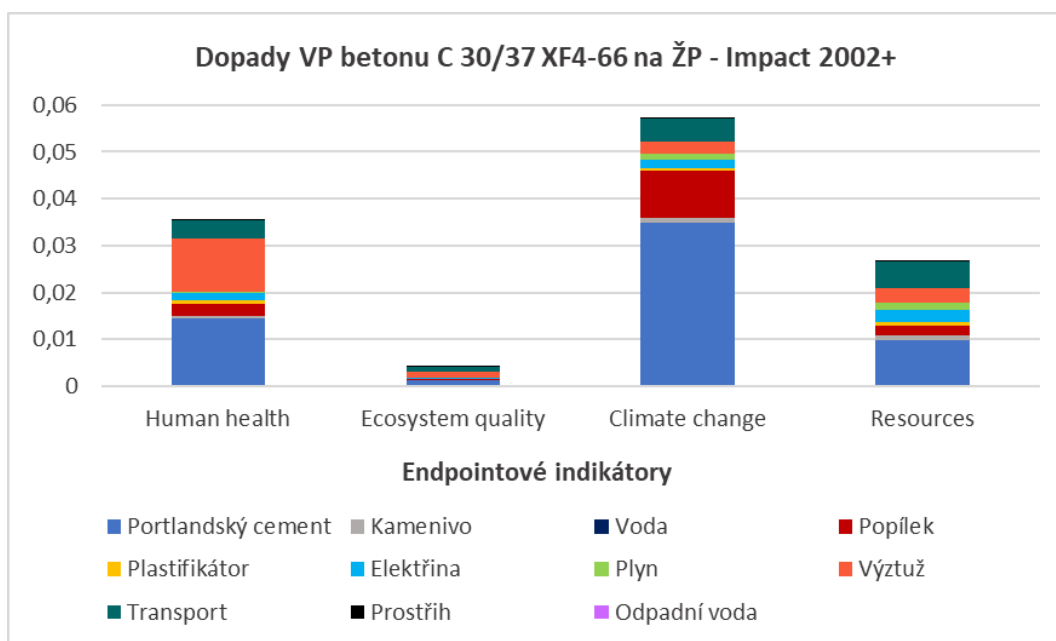
Graf 23: Dopady VP betonu C 25/30 XF3-1 na ŽP

Z uvedených grafů je patrné, že v kategorii dopadu karcinogeny (carcinogens) naprosto převládá ocel. Stejně tak v případě eutrofizace vod (aquatic eutrophication) má naprosto největší vliv spotřeba proplachové vody. V ostatních kategoriích dominují lehce obměněné kombinace cementu, transportu a oceli. Menší podíl u všech kategorií dopadu má také spotřeba elektřiny. Významný vliv

na životní prostředí má elektřina pouze v kategorii ionizační záření (ionizing radiation). U endpointových indikátorů dopadu je možné si povšimnout, že výroba prefabrikátů má značný dopad na klimatické změny, zatímco má minimální vliv na kvalitu ekosystému. Ve všech endpointových kategoriích pak převažuje cement.



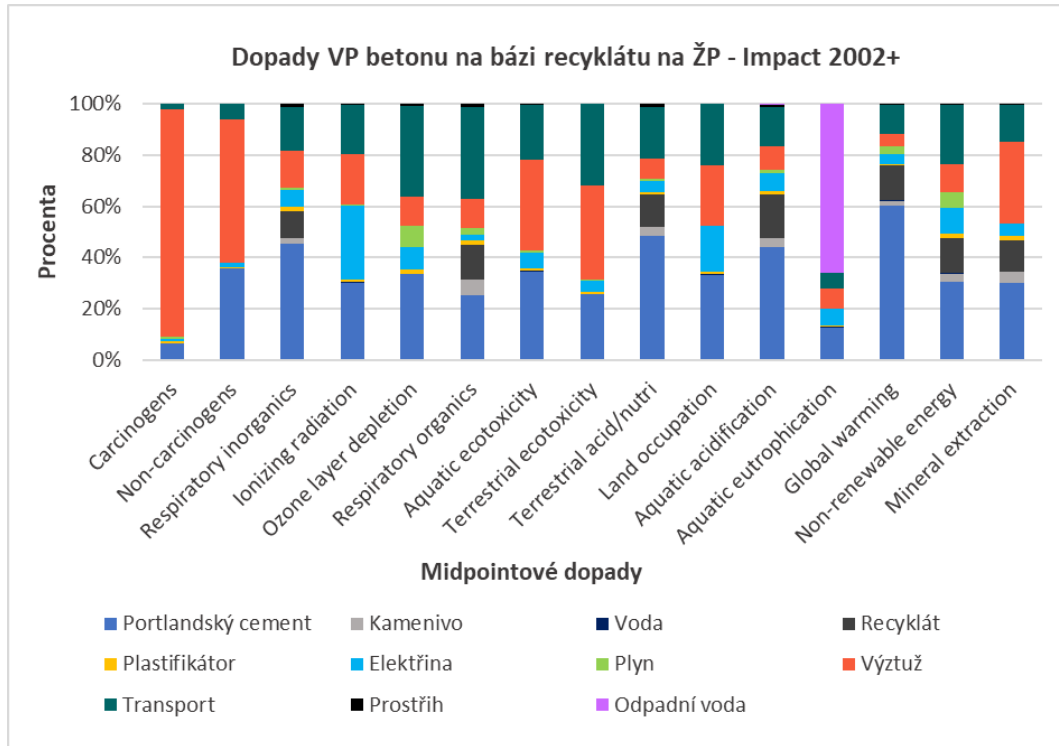
Graf 24: Dopady VP betonu C 30/37 XF4-66 na ŽP



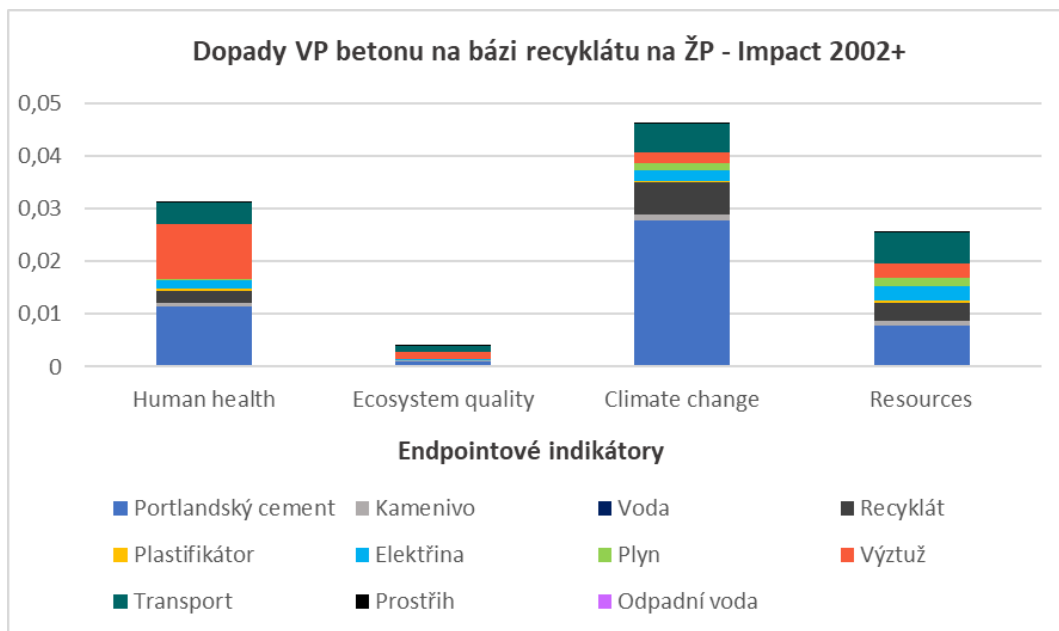
Graf 25: Dopady VP betonu C 30/37 XF4-66 na ŽP

Poměr hodnot midpointových i endpointových indikátorů u jednotlivých kategorií se pak u všech dalších betonových směsí s menšími rozdíly opakuje. Rozdílnost je

způsobena především přítomností příměsových materiálů. Na výše uvedeném grafu dopadů výrobního procesu betonu C 30/37 XF4-66 je například zřejmý vliv spotřeby popílku na klimatické změny.

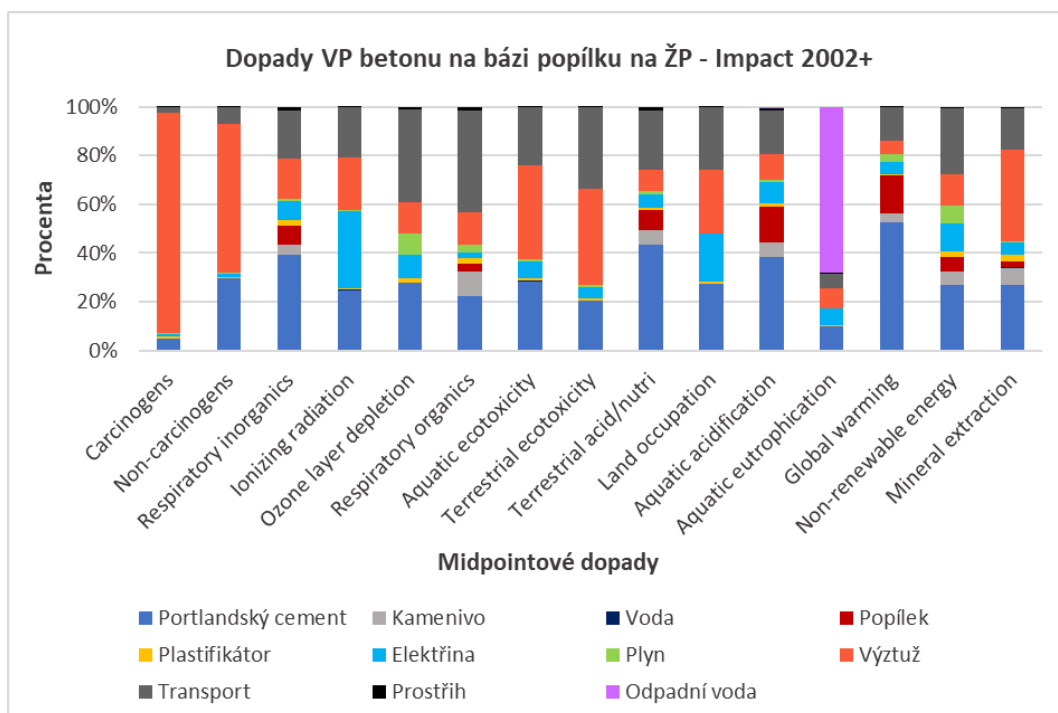


Graf 26: Dopady VP betonu na bázi recyklátu na ŽP

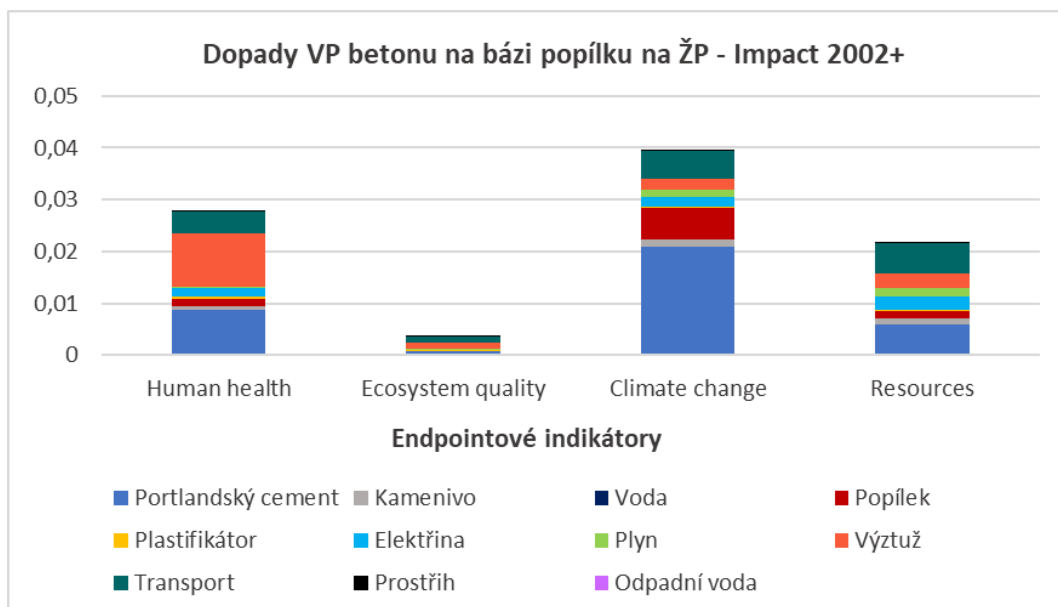


Graf 27: Dopady VP betonu na bázi recyklátu na ŽP

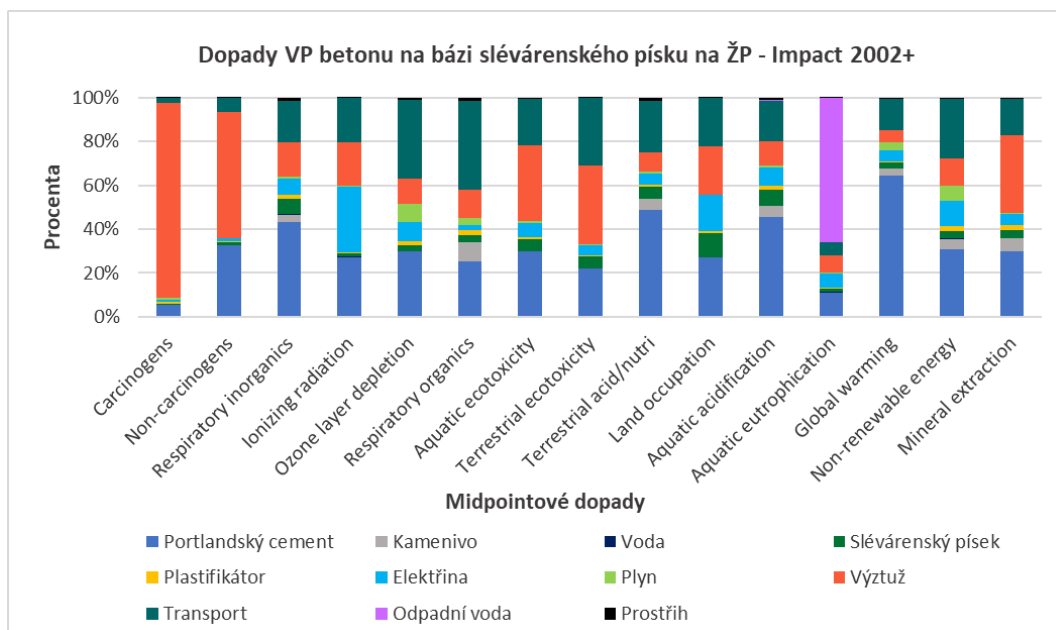
Vliv použití recyklovaného betonu je obdobný jako v případě použití popílku. Hodnoty indikátorů kategorie dopadu jsou však mírně vyšší.



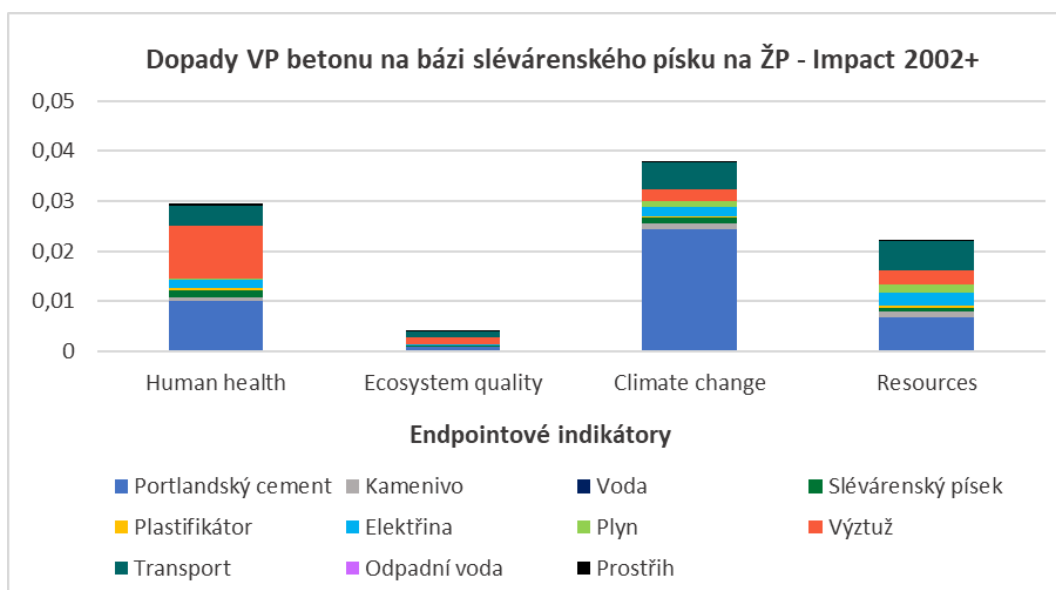
Graf 28: Dopady VP betonu na bázi popílku na ŽP



Graf 29: Dopady VP betonu na bázi popílku na ŽP



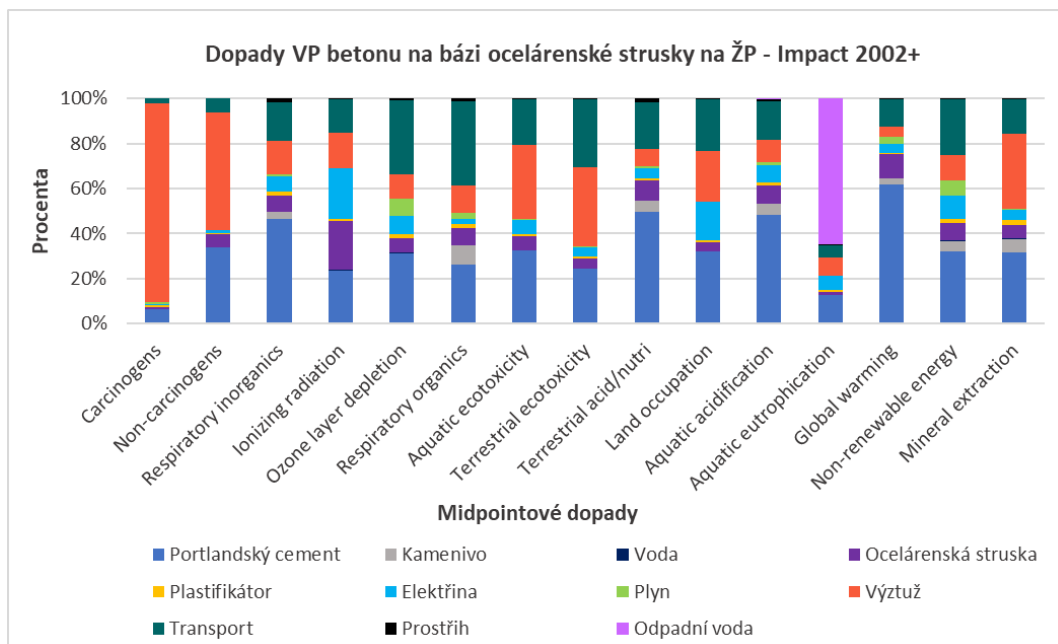
Graf 30: Dopady VP betonu na bázi slévárenského písku na ŽP



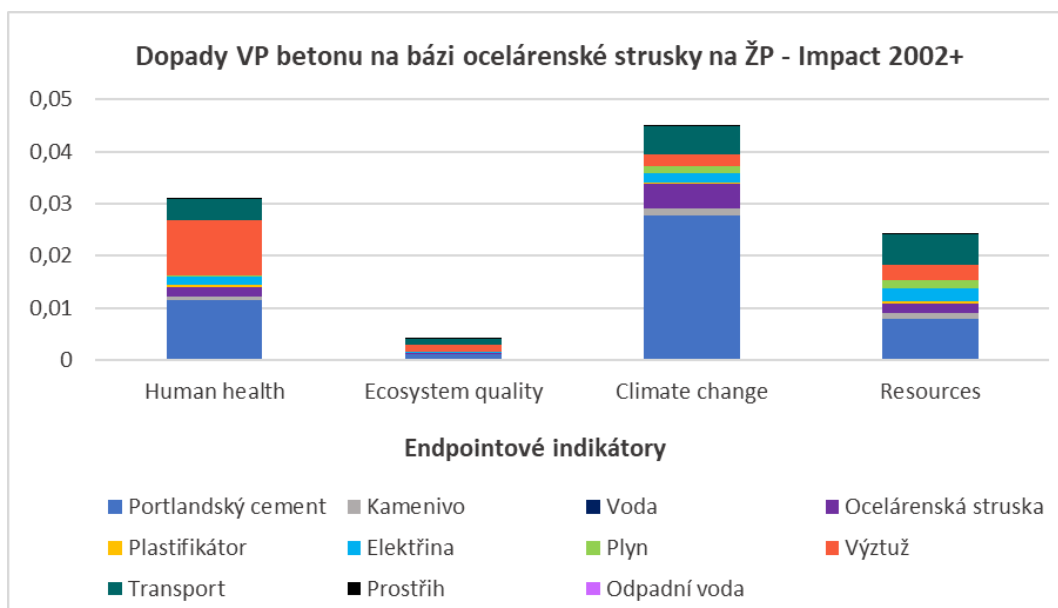
Graf 31: Dopady VP betonu na bázi slévárenského písku na ŽP

Použití slévárenského písku má v rámci výrobního procesu železobetonových prefabrikátů minimální vliv na životní prostředí. To dokazují nízké hodnoty jak midpointových, tak endpointových indikátorů. Slévárenský písek potenciálně zapříčiňuje všechny kategorie dopadu, avšak minimálně. Nejvyšší hodnota dopadu spadá na užívání půdy (land occupation). V případě endpointových indikátorů má

slévárenský písek téměř zanedbatelný dopad. Stále převládá spotřeba cementu následována transportem a spotřebou oceli.



Graf 32: Dopady VP betonu na bázi ocelářské strusky na ŽP

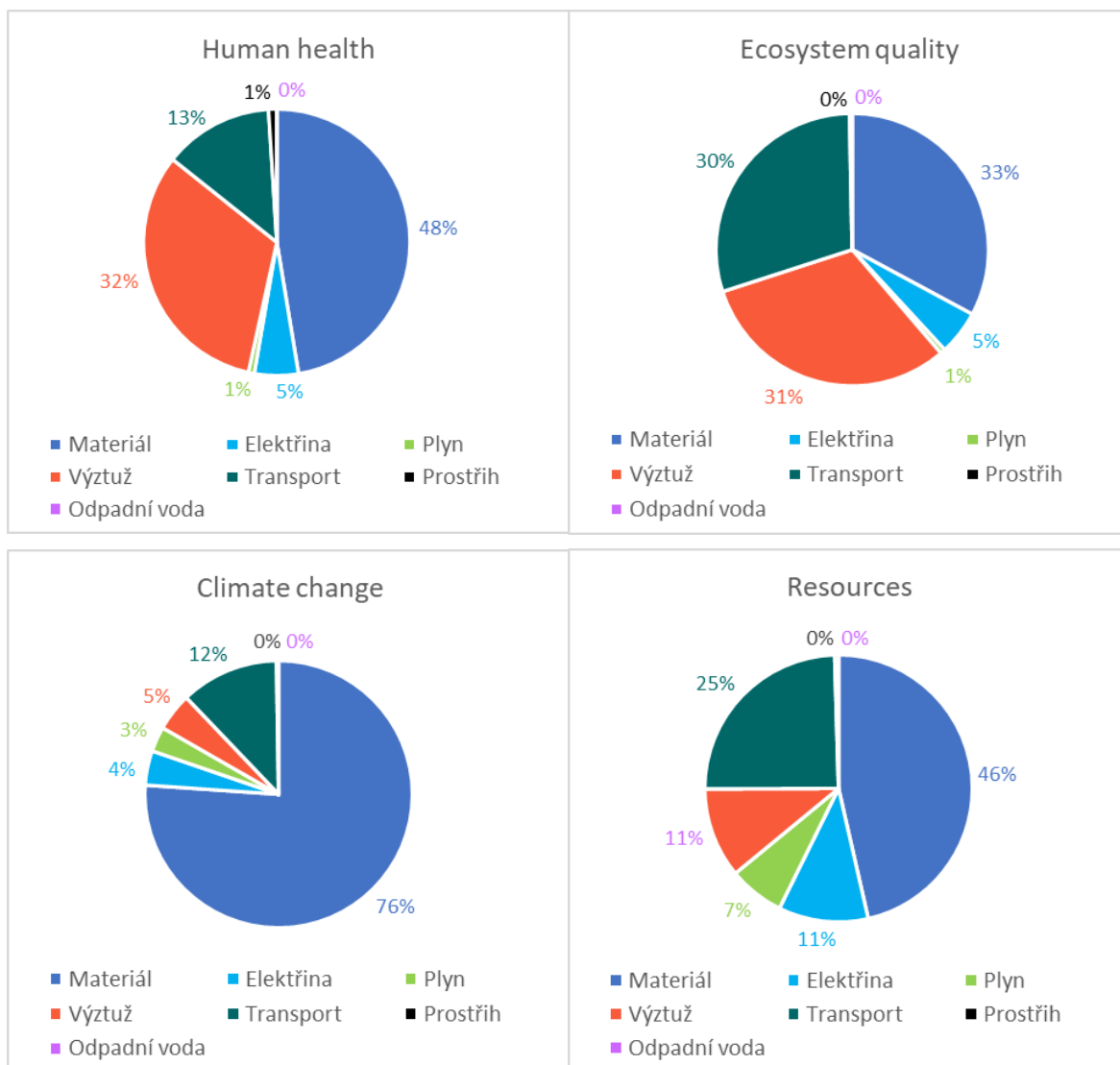


Graf 33: Dopady VP betonu na bázi ocelářské strusky na ŽP

Aplikace ocelářské strusky v betonové směsi má opět mírný vliv na všechny kategorie dopadu. Vzhledem k povaze výrobního procesu oceli, jejímž odpadním produktem je právě ocelářská struska je přirozené, že má spotřeba strusky nejvyšší potenciální schopnost zapříčinit právě ionizační záření (ionizing

radiation). V rámci endpointových indikátorů má ocelářská struska druhý nejnižší dopad ve všech čtyřech kategoriích dopadu hned po slévárenském písku.

V následujících čtyřech grafech je zobrazeno zastoupení jednotlivých kategorií vstupů a výstupů výrobního procesu v rámci endpointových indikátorů.



Graf 34: Vliv jednotlivých faktorů VP

V kategorii dopadu lidské zdraví (human health) je téměř polovina dopadů způsobena produkcí surovin a materiálů. Významný podíl tvoří také výroba ocelové výztuže a transport. Na kvalitu ekosystému (ecosystem quality) působí skoro rovnocenným dílem materiál, ocelová výztuž a transport. Spotřeba elektrické energie zaujímá 5% dopadů na lidské zdraví i dopadů na kvalitu ekosystému.

Zcela zanedbatelný vliv na obě zmíněné endpointové kategorie dopadu má potom spotřeba zemního plynu, produkce prostřihu ocelové výztuže a odpadní vody.

Na kategorii dopadu klimatické změny (climate change) má zcela jednoznačně největší vliv spotřeba materiálu, a to ze 76 %. Z 12 % působí na klima transport. Ostatní vstupy a výstupy již mají dopad na klimatické změny pouze v jednotkách procent. V případě kategorie zdroje (resources) je zřejmé, že opět téměř z poloviny dominuje produkce materiálu. Zde také dosahuje své nejvyšší hodnoty spotřeba elektrické energie, která zde zaujímá celých 11 %. Stejně tak je tomu u spotřeby zemního plynu, který zde dosahuje hodnoty 7 %.

7.5.3 Dopady procesu recyklace/likvidace prefabrikátů

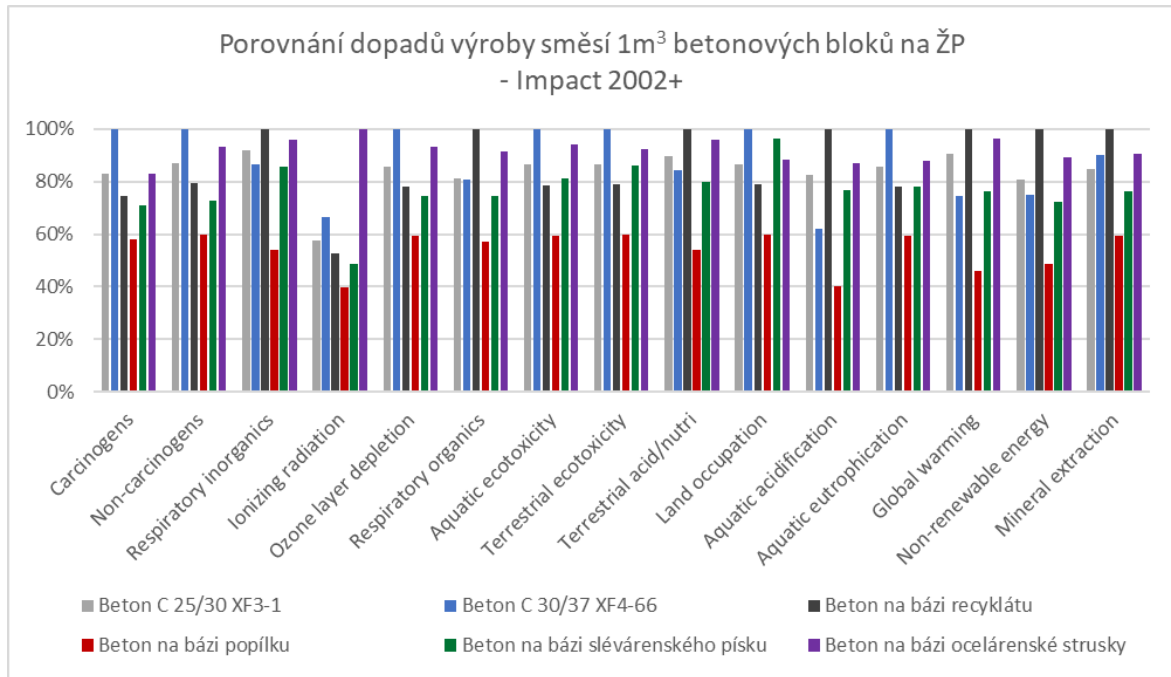
Poslední fází životního cyklu železobetonového prefabrikátu je likvidace či recyklace. Stavební prvky z železobetonu mají velmi dlouhou dobu životnosti, přesto v určitém okamžiku dochází k jejich demontáži a následné likvidaci sutin. Běžně pak dochází ke skládkování stavební suti. Z pohledu dopadů na životní prostředí se jako lepší varianta jeví recyklace. Stavební suť je možné roztrdit do skupin dle převládajícího materiálu a jednotlivé skupiny pak náležitě zpracovat a zrecyklovat. Vstupy pro proces recyklace jsou opět vztaženy na 1 m³.

Tabulka 12: Přehled konkrétních množství vstupů a výstupů procesu recyklace

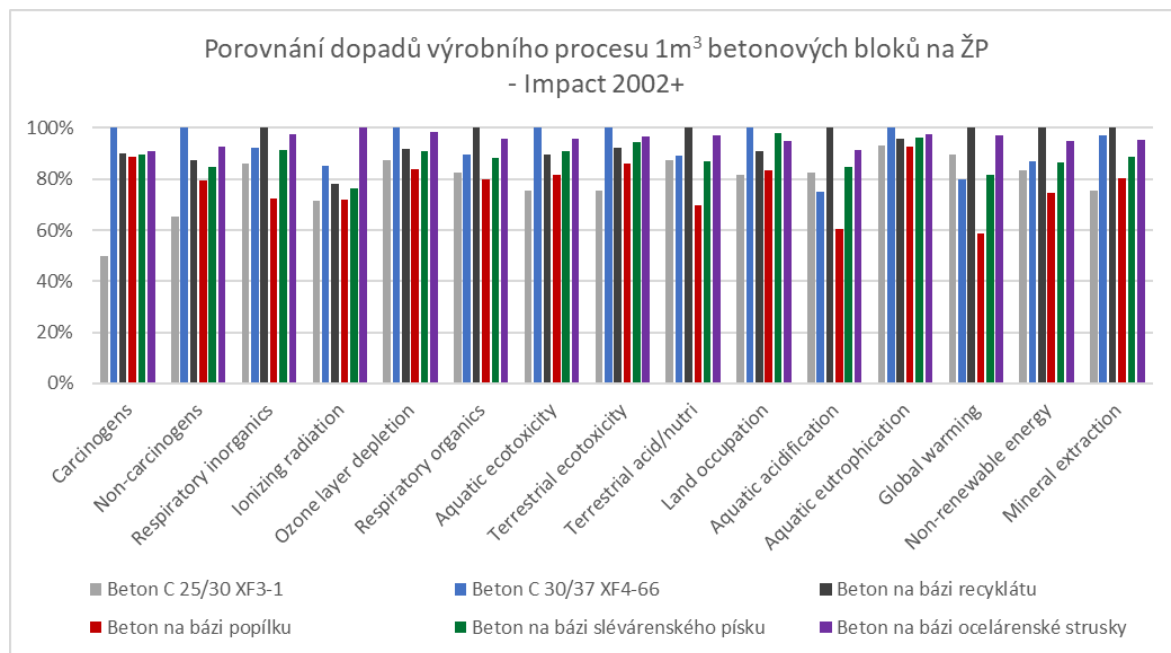
<i>Vstupy</i>	<i>Množství</i>	<i>Jednotka</i>
Betonová směs		
<i>Beton C 25/30 XF3-1</i>	2 232,50	[kg/m ³]
<i>Beton C 30/37 XF4-66</i>	2 209,00	[kg/m ³]
<i>Beton na bázi recyklátu</i>	2 384,00	[kg/m ³]
<i>Beton na bázi popílku</i>	2 363,00	[kg/m ³]
<i>Beton na bázi slévárenského písku</i>	2 399,00	[kg/m ³]
<i>Beton na bázi ocelárenské strusky</i>	2 389,00	[kg/m ³]
Výztuž		
<i>Beton C 25/30 XF3-1</i>	23,09	[kg/m ³]
<i>Beton C 30/37 XF4-66</i>	51,72	[kg/m ³]
<i>Beton na bázi recyklátu</i>	47,04	[kg/m ³]
<i>Beton na bázi popílku</i>	47,04	[kg/m ³]
<i>Beton na bázi slévárenského písku</i>	47,04	[kg/m ³]
<i>Beton na bázi ocelárenské strusky</i>	47,04	[kg/m ³]

7.5.4 Porovnání dopadů

V rámci hodnocení dopadů životního cyklu železobetonového prefabrikátu je zásadní porovnání vlivu samostatné výroby jednotlivých betonových směsí, vlivu celého výrobního procesu prefabrikátu a vlivu procesu recyklace.



Graf 36: Porovnání dopadů výroby směsí 1m³ betonových bloků na ŽP

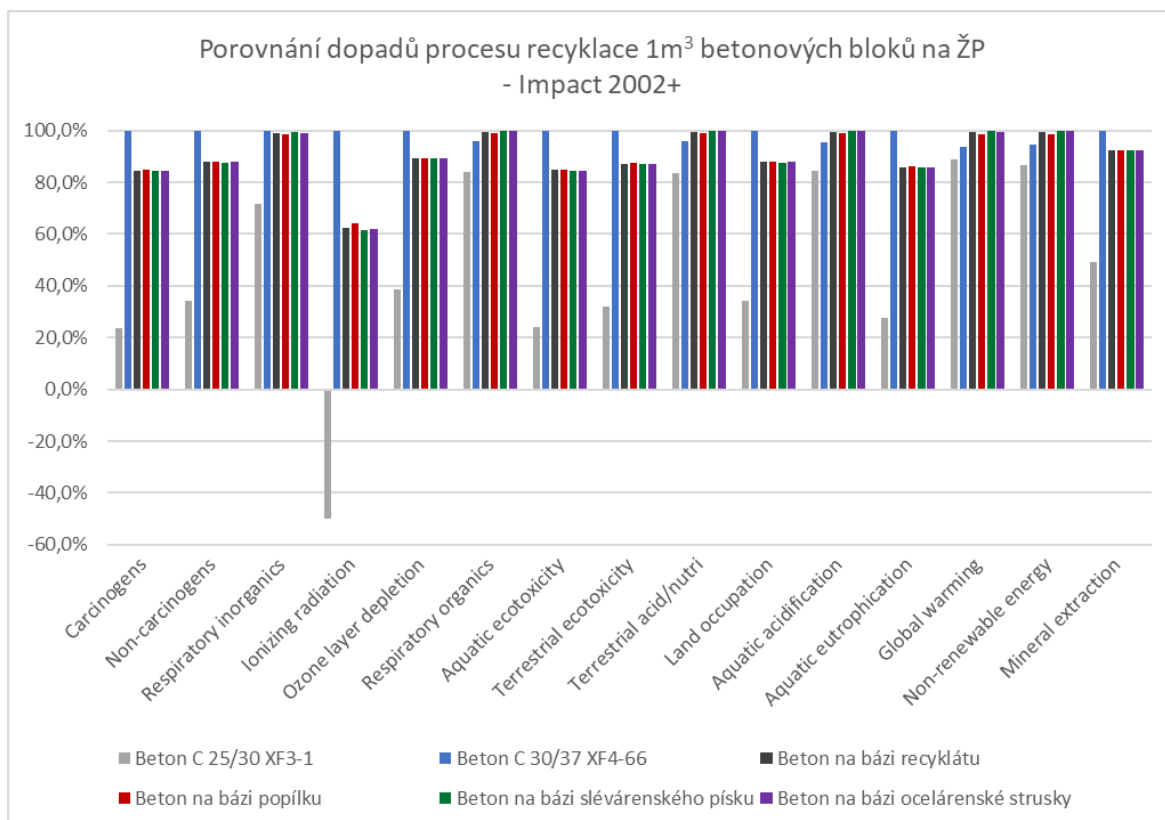


Graf 35: Porovnání dopadů výrobního procesu 1m³ betonových bloků na ŽP

Zprvé, co mají výše zmíněné grafy společného? Téměř v polovině midpointových kategorií dopadu má v obou případech nejvyšší potenciál způsobovat příslušnou kategorii dopadu beton C 30/37 XF4-66. Ve druhé polovině kategorií potom dominuje beton na bázi recyklátu. Je potřebné brát v úvahu složení těchto dvou směsí. Beton C 30/37 XF4-66 obsahuje nejvyšší podíl cementu, který jak je již známé z předchozí analýzy má obecně největší hodnoty dopadu. U betonu na bázi recyklátu potom nastává podobný problém. Beton na bázi recyklátu má totiž v porovnání s ostatními příměsovými betony nejvyšší podíl příměsí – betonového recyklátu. Betonový recyklát je na rozdíl od přírodního kameniva tvořen množstvím heterogenních složek, z nichž největší podíl zaujímá právě kamenivo s cementem. Stejně tak je nutné při hodnocení uvážit složení betonu na bázi popílku. Výsledky této směsi jsou z environmentálního hlediska bezpochyby nejlepší. Tyto hodnoty jsou jistě částečně ovlivněny nejnižším podílem cementu v této směsi. To potvrzuje myšlenku, že použití popílku za účelem snížení obsahu cementu vede ke snížení vlivu na životní prostředí.

Výše uvedené grafy na první pohled neodhalují zásadní rozdíly, ale určité odlišnosti je přece jen možné najít. Zajímavé je, že téměř ve všech kategoriích dochází po zahrnutí celého výrobního procesu k vyrovnání dopadů jednotlivých typů směsí. Jinak řečeno, dochází ke zmírnění rozdílu hodnot dopadů v jednotlivých kategoriích. Dále je v celkovém měřítku viditelný nižší dopad typu betonu C 25/30 XF3-1, což je způsobeno pravděpodobně nízkým obsahem ocelové výztuže. Menší výztužení vede ke snížení hmotnosti výsledného produktu a tím současně ke snížení počtu tunokilometrů, což má na životní prostředí pozitivní dopad.

Poslední grafem porovnávajícím prefabrikáty z různých typů betonu je graf Porovnání dopadů procesu recyklace 1 m³ betonových bloků na životní prostředí. Tento graf zobrazující dopady poslední fáze životního cyklu prefabrikátu je uveden níže. V Simapro byly jako vstup vybrány dva procesy recyklace – recyklace betonu a zpracování železného šrotu, což jsou dvě složky vznikající drcením a tříděním železobetonových prefabrikátů. Pozitivním přínosem recyklace prefabrikátů je pak snížení produkce netříděného železného šrotu a drceného štěrku.

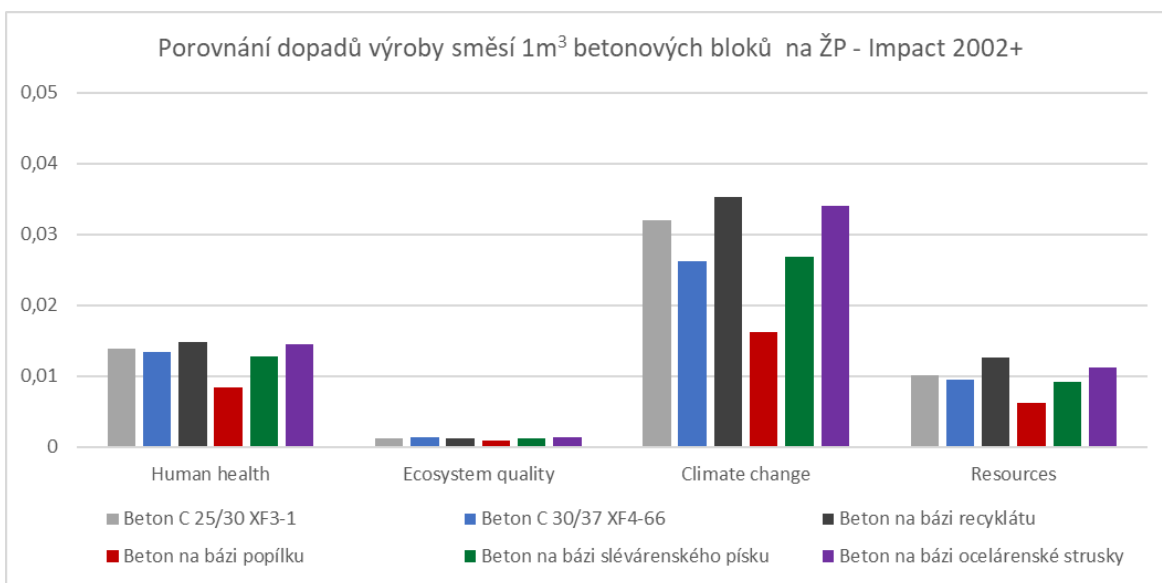


Graf 37: Porovnání dopadů procesu recyklace 1 m³ betonových bloků na ŽP

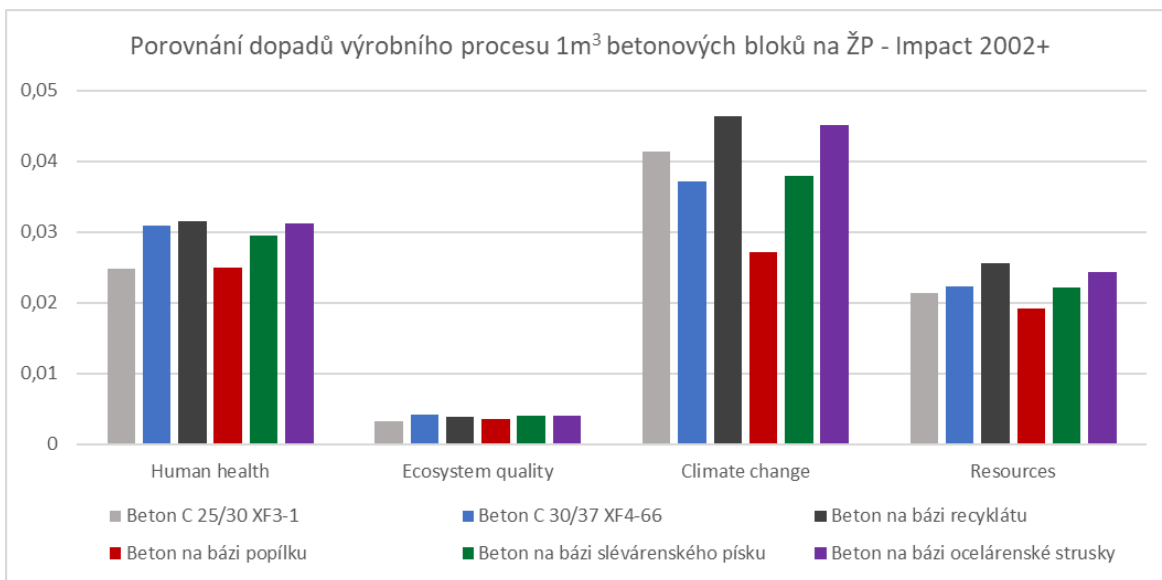
Z grafu je zřejmé, že nejlepšími výsledky procesu recyklace dosahuje prefabrikát z betonu C 25/30 XF3-1. Naopak nejhorší hodnoty dopadů procesu recyklace vykazuje beton C 30/37 XF4-66. Proces recyklace má ve všech případech největší vliv na kategorii dopadu respirační onemocnění způsobené anorganickými látkami (respiratory inorganics), respirační onemocnění způsobené organickými látkami (respiratory organics), acidifikace a eutrofizace půd (terrestrial acid/nutri), acidifikace vod (Aquatic acidification), globální oteplování (global warming) a energie z neobnovitelných zdrojů (non-renewable energy).

Dále jsou uvedené také grafy endpointových indikátorů porovnávající dopady výroby různých typů betonových směsí s dopady celého výrobního procesu a dopady procesu recyklace prefabrikátů ze všech typů betonových směsí. Výše hodnot všech endpointových indikátorů kategorií dopadu výrobního procesu vůči hodnotám indikátorů kategorií dopadu výroby směsí po zahrnutí spotřeby elektrické energie, zemního plynu, zahrnutí ocelové výztuže a transportu úměrně

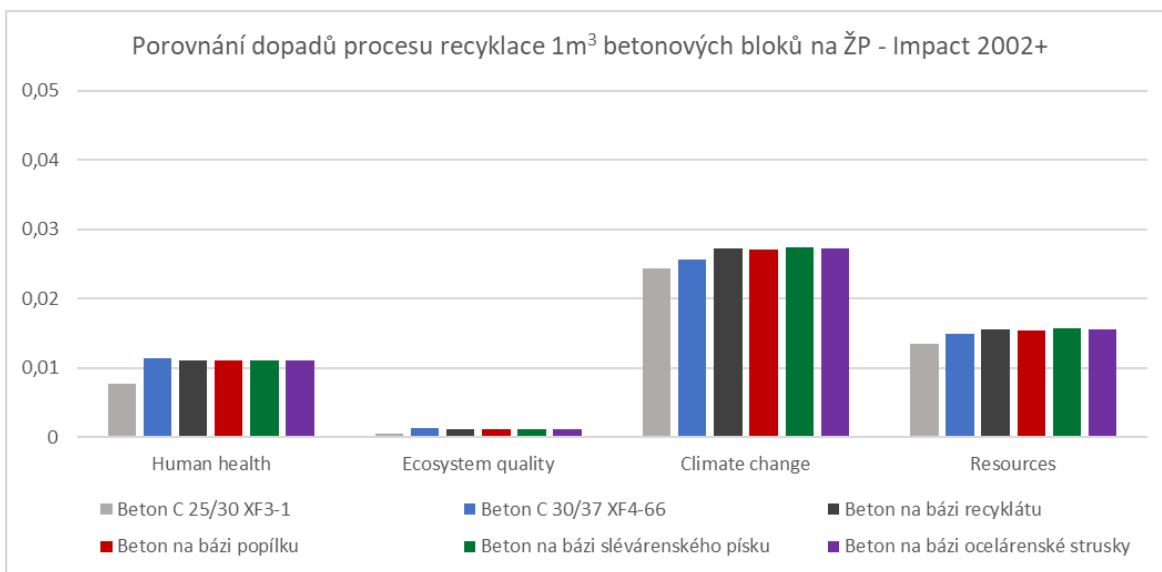
roste. Hodnoty se téměř zdvojnásobí. Nejvyšších hodnot ve všech čtyřech kategoriích dopadu dosahuje beton na bázi recyklátu. Vysoké hodnoty dopadů vykazuje také beton C 25/30 XF3-1 a beton na bázi ocelářenské strusky. Obecně má výroba směsí i kompletní výroba prefabrikátů největší dopad v oblasti klimatických změn. Naopak nejnižší dopady jsou zaznamenány v kategorii kvalita ekosystému.



Graf 38: Porovnání dopadů výroby směsí 1m³ betonových bloků na ŽP

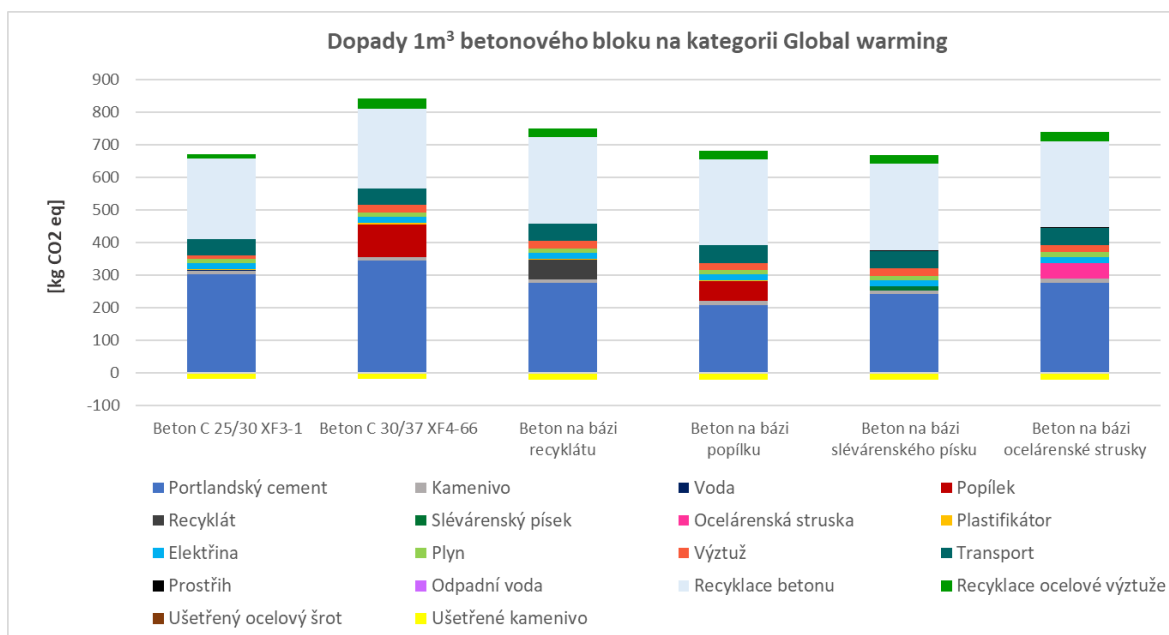


Graf 39: Porovnání dopadů výrobního procesu 1 m³ betonových bloků na ŽP



Graf 40: Porovnání dopadů procesu recyklace 1 m³ betonových bloků na ŽP

Pro představu o dopadech celého životního cyklu železobetonového prefabrikátu ze všech uvažovaných typů betonu je zde uveden graf nejdiskutovanější kategorie dopadu – globální oteplování.



Graf 41: Dopady 1 m³ betonového bloku na kategorii GW

Je zcela zřejmé, že největší podíl dopadu na globální oteplování má produkce Portlandského cementu a finální recyklace železobetonového bloku. Nezanedbatelný dopad má pak například popílek, recyklát či železný šrot. Vyhnutí se produkce železného šrotu a šterku je pak klasifikováno jako záporná hodnota.

7.5.5 Shrnutí výsledků

Na základě předchozí analýzy bylo zjištěno, že ne všechny alternativní scénáře jsou pro studované environmentální indikátory ve srovnání s konvenčním scénářem přínosné. Výsledky je nutné hodnotit s přihlédnutím ke složení jednotlivých typů směsí. Ekologické varianty betonových směsí mají přesto několik výhod. Zaprvé je snížena poptávka po přírodním kamenivu (v případě betonu na bázi recyklátu a betonu na bázi slévárenského písku), což je v současné době, kdy jednoznačně ubývá zásob kameniva na ložiskách povolených těžby jistě příznivé. Dále je snížena poptávka po cementu (v případě betonu na bázi popílku a betonu na bázi ocelářské strusky). Z hlediska vysokého vlivu produkce cementu na životní prostředí je tento efekt zcela zásadní.

Nejllepších výsledků dosahují alternativní směsi na bázi popílku a slévárenského písku. Výhodu scénářů popílku a slévárenského písku ve srovnání s konvenčním scénářem lze připsat hlavně snížené poptávce po cementu. Beton na bázi recyklátu a ocelářské strusky vzhledem k povaze výroby příslušných příměsových materiálů nedosahuje lepších výsledků než betony konvenční, přesto je vzhledem k životnímu prostředí preferován alternativní přístup recyklace a zamezení skládkování odpadních materiálů. Tento omezený dopad poskytuje hlavní důvody příznivého účinku diskutovaného scénáře recyklace.

Ještě lepších výsledků by bylo možné dosáhnout například využitím kombinací alternativních materiálů. Výhody alternativních scénářů, které by byly založeny na kombinovaném využití recyklovaného kameniva společně s jedním ze tří diskutovaných alternativních materiálů, by byly ještě větší, protože je lze sčítat. Použití recyklovaného kameniva a slévárenského písku, popílku nebo strusky pro výrobu betonu poskytuje velmi významný environmentální přínos spojený s vyloučením skládkování těchto odpadních materiálů. Z tohoto důvodu by kombinované alternativní scénáře vykazovaly lepší environmentální výsledky než odpovídající (nekombinované) alternativní scénáře.

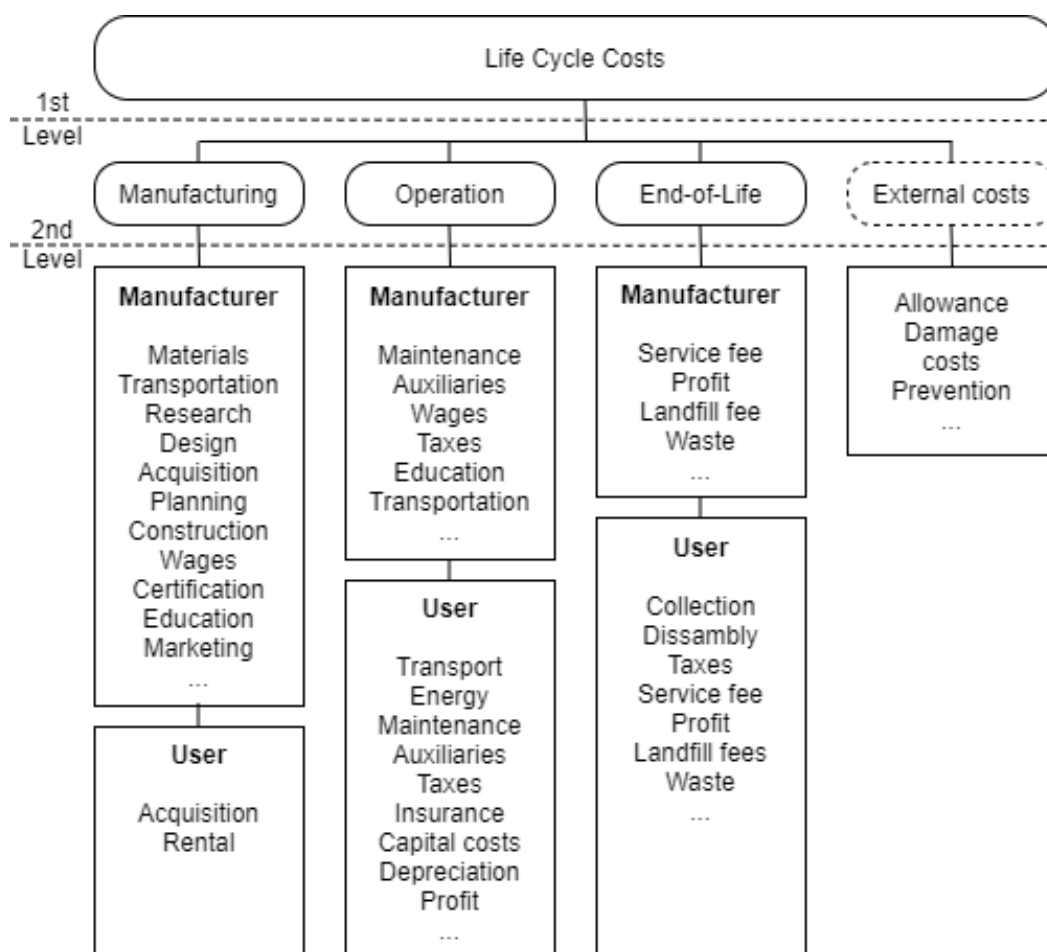
8 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

8.1 Life cycle costing

Metoda Life cycle costing je systémem sledování a vyhodnocování skutečných nákladů a výnosů, které lze přiřadit nákladovému objektu během celého jeho životního cyklu. Na základě získaných dat je možné přijímat rozhodnutí o pořízení, provozu, údržbě nebo likvidaci s ohledem na výši nákladů. Life cycle costing je v podstatě prostředkem k odhadu všech nákladů od vzniku po likvidaci produktu. K vyhodnocování běžně dochází měsíčně, čtvrtletně či ročně. [16]

Provedení LCC může mít různé účely. Může být použit jako plánovací nástroj, optimalizační nástroj, nástroj pro identifikaci úzkých míst, jako součást hodnocení udržitelnosti životního cyklu konkrétního produktu nebo k vyhodnocení investičních rozhodnutí. Z hlediska načasování analýzy je možné rozlišovat přístup *ex ante* a *ex post*. *Ex ante* LCC je výhledový přístup založený na odhadech a provádí se v raných fázích rozhodování. Naproti tomu LCC *ex post* je retrospektivní přístup založený na skutečných výsledcích, obvykle prováděných na konci projektu nebo po uplynutí určitého časového období. [5]

Life cycle costing se stejně jako Life cycle Assessment dělí na jednotlivé fáze. Těmito fázemi jsou definice cíle a rozsahu, sběr dat a hodnocení. V rámci sběru dat se pro získání přehledu o nákladech posuzovaných produktových systémů doporučuje použít kategorie nákladů na různých úrovních agregace. První úroveň se skládá ze tří fází životního cyklu (výroba, provoz a konec života/likvidace) a externích nákladů. Pro výrobce je hlavním cílem podrobná analýza všech nákladů během výroby, takže úroveň podrobnosti je vyšší ve srovnání s ostatními fázemi životního cyklu. Pro provozovatele nebo uživatele je hlavní důraz kladen na různé náklady během používání produktu nebo služby. Výsledky silně ovlivňuje sběr dat. Aby byl sběr dat lépe aplikovatelný, mělo by se rozlišovat mezi uživatelskou perspektivou a perspektivou výrobce, takže každá fáze životního cyklu má na druhé úrovni několik podkategorií. [5] Přehled kategorií nákladů je zobrazen níže.



Obrázek 22: Přehled kategorií nákladů [5]

8.2 Náklady spojené s výrobou konvenčního a green betonu

V této kapitole budou posouzeny náklady spojené s výrobou prefabrikátů z konvenčního a green betonu. Zahrnutý budou náklady na materiál, energii, transport a recyklaci. Ostatní náklady budou z hlediska zaměření této práce zanedbány. Data jsou poskytnuta společností MABA Prefa s.r.o.

Ekologickou alternativou konvenčního betonu je green beton. Složení green betonu se od konvenčního liší částečným nahrazením surovin určitými příměsovými materiály, které mají nižší dopady na životní prostředí. Přestože je tento typ betonu výhodný z environmentálního hlediska, je z důvodu aplikovatelnosti v praxi nutné také posouzení ekonomické.

Tabulka 13: Přehled nákladů na životní cyklus prefabrikátů

<i>Položka</i>	<i>Množství</i>	<i>Jednotka</i>	<i>Náklady</i>
BETONOVÁ SMĚS			
Konvenční betonová směs			
<i>Beton C 25/30 XF3-1</i>	<i>2 232,50</i>	<i>[kg/m³]</i>	<i>83 %</i>
<i>Beton C 30/37 XF4-66</i>	<i>2 209,00</i>	<i>[kg/m³]</i>	<i>100 %</i>
Green betonová směs			
<i>Beton na bázi recyklátu</i>	<i>2 384,00</i>	<i>[kg/m³]</i>	<i>75 %</i>
<i>(Z toho recyklát)</i>			<i>9 %</i>
<i>Beton na bázi popílku</i>	<i>2 363,00</i>	<i>[kg/m³]</i>	<i>69 %</i>
<i>(Z toho popílek)</i>			<i>4 %</i>
<i>Beton na bázi slévárenského písku</i>	<i>2 399,00</i>	<i>[kg/m³]</i>	<i>69 %</i>
<i>(Z toho písek)</i>			<i>1 %</i>
<i>Beton na bázi ocelárenské strusky</i>	<i>2 389,00</i>	<i>[kg/m³]</i>	<i>77 %</i>
<i>(Z toho struska)</i>			<i>2 %</i>
VÝZTUŽ			
Výztuž konvenčního betonu			
<i>Beton C 25/30 XF3-1</i>	<i>32,98</i>	<i>[kg/m³]</i>	<i>53 %</i>
<i>Beton C 30/37 XF4-66</i>	<i>73,89</i>	<i>[kg/m³]</i>	<i>100 %</i>
Výztuž green betonu			
<i>Beton na bázi recyklátu</i>	<i>47,04</i>	<i>[kg/m³]</i>	<i>78 %</i>
<i>Beton na bázi popílku</i>	<i>47,04</i>	<i>[kg/m³]</i>	<i>78 %</i>
<i>Beton na bázi slévárenského písku</i>	<i>47,04</i>	<i>[kg/m³]</i>	<i>78 %</i>
<i>Beton na bázi ocelárenské strusky</i>	<i>47,04</i>	<i>[kg/m³]</i>	<i>78 %</i>
TRANSPORT			
Transport konvenčního betonu			
<i>Beton C 25/30 XF3-1</i>	<i>229,96</i>	<i>[tkm]</i>	<i>93 %</i>
<i>Beton C 30/37 XF4-66</i>	<i>227,53</i>	<i>[tkm]</i>	<i>92 %</i>
Transport green betonu			
<i>Beton na bázi recyklátu</i>	<i>245,55</i>	<i>[tkm]</i>	<i>99 %</i>
<i>Beton na bázi popílku</i>	<i>243,39</i>	<i>[tkm]</i>	<i>98 %</i>
<i>Beton na bázi slévárenského písku</i>	<i>247,10</i>	<i>[tkm]</i>	<i>100 %</i>
<i>Beton na bázi ocelárenské strusky</i>	<i>246,07</i>	<i>[tkm]</i>	<i>100 %</i>
RECYKLACE	1	[m³]	<i>100 %</i>

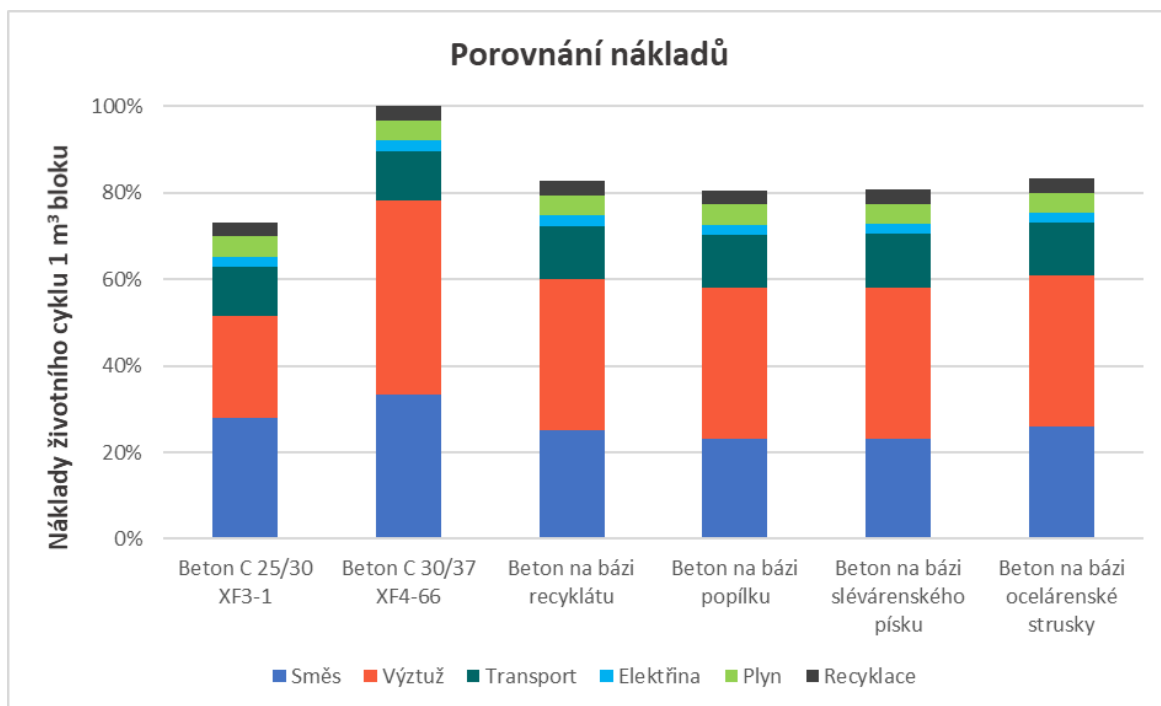
Pozn.: Nejnákladnější položka z každé skupiny představuje 100 %. Ostatní položky ve skupině jsou vyjádřeny poměrově k referenční hodnotě.

Náklady na výrobu železobetonových prefabrikátů z green betonu byly vyčísleny na základě podobnosti green betonových směsí a konvenčních betonových směsí používaných ve společnosti MABA Prefa s.r.o. Náklady na příměsové materiály (recyklát, popílek, slévárenský písek a ocelárenská struska) byly stanoveny jako průměrné hodnoty veřejně dostupných nabídek. Jelikož jde v této práci především o srovnání konvenčních surovin s jejich ekologickými alternativami, jsou u každé betonové směsi uvedeny náklady právě na ekologickou příměs, která beton přetváří na green beton. Tyto hodnoty jsou vztaženy k množství příměsi v 1 m³ betonu. V další kapitole budou pro lepší přehled porovnány jednotkové náklady na jednotlivé příměsi.

Z důvodu respektování vnitřních informací společnosti byly náklady životního cyklu prefabrikátu uvedeny v podobě relativně vyjádřených nákladů vždy vzhledem k nejnákladnější položce, která představuje 100 %. Náklady na výrobu směsi jsou tvořeny náklady na všechny vstupní suroviny a náklady na míchání směsi. Náklady na armaturu zahrnují průměrné náklady na ocelovou výztuž a náklady na zpracování, tj. stříh, ohyb a vázání. V případě nákladů na energii a transport jsou uvažovány průměrné hodnoty přepočítané na 1 m³ železobetonového produktu.

8.3 Porovnání nákladů

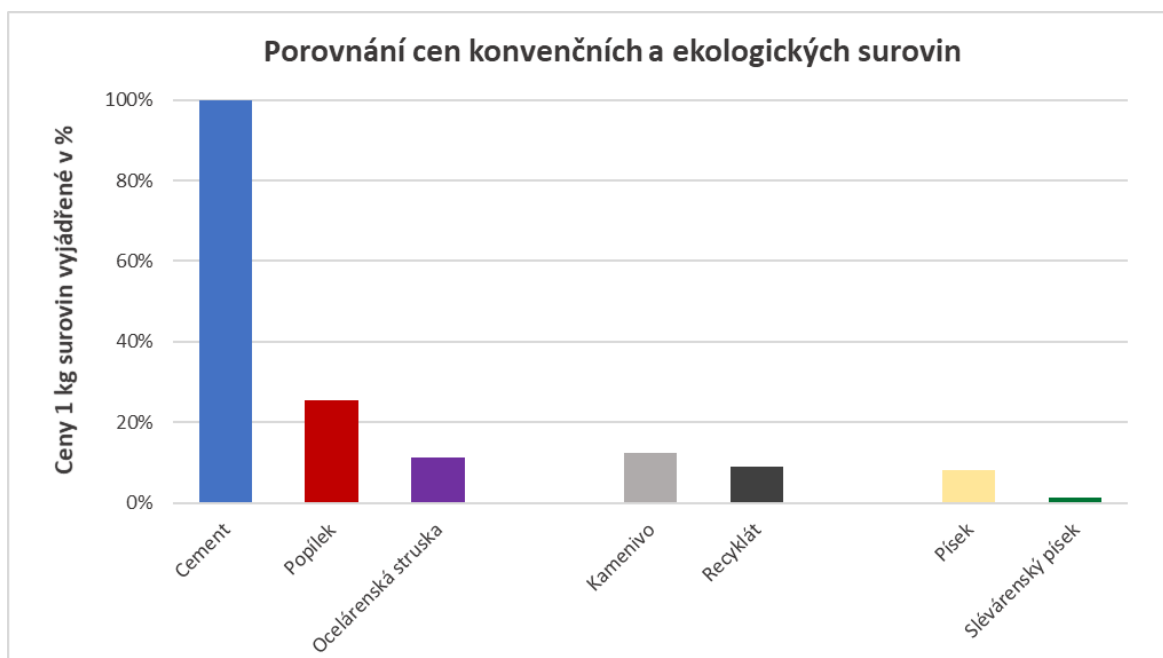
Pro vyhodnocení ekonomické stránky výroby prefabrikátů z jednotlivých konvenčních i ekologických typů betonových směsí je nutné srovnání výrobních nákladů. Je nezbytné brát v potaz, že jednotlivé typy směsí mají různé složení. Jelikož je cement nejdražší vstupní surovinou, pak výsledkem přirozeně je, že beton C 30/37 XF4-66 s nejvyšším podílem cementu, má nejvyšší náklady na výrobu směsi. To stejné pak platí u výztuže. Prefabrikát z betonu C 30/37 XF4-66, jakožto z betonu vyšší třídy obsahuje největší množství ocelové výztuže. Tyto rozdíly však nejsou tak zásadní, aby zkreslovaly výsledky srovnání nákladů.



Graf 42: Porovnání nákladů životního cyklu prefabrikátů

Ve výše uvedeném grafu jsou znázorněny celkové výrobní náklady na 1 m³ železobetonového prefabrikátu z příslušných typů betonu. Je patrné, že zásadní rozdíl tvoří náklady na výrobu směsi a náklady na výztuž. Pokud bychom porovnávali pouze náklady na směs konvenčních betonů a green betonů, pak jsou zjevně ekologické varianty směsi méně nákladné než směsi konvenční. Nejnižší náklady na výrobu betonové směsi vykazuje beton na bázi slévárenského písku těsně následován betonem na bázi popílku. Následuje beton na bázi recyklátu, beton na bázi ocelářské strusky, beton C 25/30 XF3-1 a nejvyšších nákladů na směs dosahuje beton C 30/37 XF4-66, přestože také obsahuje popílek. Je tedy zcela jednoznačné, že záleží na konkrétním složení směsi. Nestačí pouze přidat příměsový materiál, či nahradit příměsí část konvenčních surovin, ale je potřebné vytvořit vhodné složení směsi, které bude respektovat požadovanou pevnost a další vlastnosti a zároveň bude mít pozitivní dopad na životní prostředí současně s optimální výší nákladů. Takto optimálně vytvořená směs má pak vysoký potenciál stát se environmentálně přínosnou a zároveň výhodnou z hlediska výroby, čímž by bylo možné dosáhnout zvýšení nabídky a poptávky po green betonech.

Finální náklady na ekologicky vyráběné prefabrikáty jsou vyšší než náklady prefabrikátů z konvenčního betonu C 25/30 XF3-1 převážně z důvodu většího podílu výztuže. Zvýšený stupeň vyztužení je nutný v souvislosti s udržení původně požadovaných pevností hotových výrobků.



Graf 43: Porovnání cen konvenčních surovin a ekologických alternativ

Pro lepší představu o nákladech na konvenční vstupní suroviny a jejich ekologicky šetrnější varianty je zde uvedený graf Porovnání cen konvenčních a ekologických surovin. Suroviny jsou rozdělené do skupin dle typu použití. Například cement je možné nahradit popílkem nebo ocelářskou struskou. Z grafu jednoznačně vyplývá, že ekologické alternativy jsou z pohledu ekonomiky výhodnější. Jakékoli nahrazení množství cementu musí mít pozitivní dopad na výši nákladů. V případě náhrady přírodního kameniva recyklátem není rozdíl cen příliš výrazný. Přesto se ve větším množství produkce a s přihlédnutím k menším environmentálním dopadům recyklát jistě vyplatí. Ekonomicky výhodnější variantou písku je pak písek slévárenský.

ZÁVĚR

Ve své diplomové práci jsem se zabývala posouzením environmentálních dopadů životního cyklu železobetonového prefabrikátu z konvenčních betonových směsí a z alternativních green betonových směsí. Cílem bylo vyhodnotit, zda ekologické varianty konvenčních betonových směsí skutečně vykazují nižší vliv na životní prostředí a pokud ano, tak v jakém rozsahu.

První zjištění, které je z výsledků práce zjevné, se dalo s velkou pravděpodobností očekávat. Výsledky této konkrétní studie potvrdily, že alternativní výrobní scénáře mají v řadě kategorií dopadu na životní prostředí značně nižší vliv. I zde však nelze jen obecně konstatovat, ale je potřeba vzít v potaz detailní ukazatele a kombinace dílčích vlivů. Například scénář strusky vykazuje pouze mírné zlepšení pokud jde o emise CO₂, ale velmi významné zlepšení z pohledu eutrofizace. Jako optimální materiál, který může částečně zastoupit roli cementu, se ukázal být popílek. Jeho vlivem se environmentální parametry testované směsi ve srovnání s ostatními výrazně zlepšily. Navíc se jedná o odpadní produkt z jiné průmyslové činnosti a jeho další využití je nanejvýš žádoucí. Dodatečné ekonomické zhodnocení ukázalo, že ekologické varianty konvenčních surovin jsou zároveň méně nákladné. Nejvýraznější rozdíl je v případě náhrady cementu, kdy jak popílek, tak ocelářská struska představují zlomek nákladů v porovnání s náklady na cement.

Co již tak zjevné a očekávané na začátku práce nebylo, je relativně nízká míra snížení vlivu na životní prostředí u všech prověřovaných variant. Ukázalo se, že stěžejním nosičem našeho parametru je portlandský cement. Cílem je tedy snížit podíl tohoto cementu, jak se v praxi děje u nízkopevnostních betonových směsí, nebo ho částečně nahradit alternativními materiály, jak jsem v jednotlivých variantách zdokumentovala v rámci srovnávací analýzy. Jakákoli náhrada nebo redukce této položky je ale vždy limitována požadavky na kvalitu vyráběné betonové směsi. Za současné úrovně technologických znalostí se zatím výroba vysokopevnostních betonových konstrukcí bez portlandského cementu neobejde. Z tohoto důvodu je tedy sebemenší snížení i v jiných oblastech velmi přínosné.

Ačkoli je popílek oficiálním vítězem mých srovnávacích analýz, tak z pohledu budoucí udržitelnosti tohoto zdroje to není nijak růžové. Lze předpokládat, že i produkce tohoto odpadního materiálu se bude pomalu utlumovat a to ze stejných pohnutek. Budoucnost tedy vidím ve zpracování recyklátu. Ten částečně nahradí jak cement, tak hlavně kamenivo, jehož těžba je neustále limitována.

Věřím, že se v nejbližší době objeví na trhu ještě další zcela nové materiály. Nemusí se to týkat jen složek, které jsem ve své práci popsala, ale i takových, jež nahradí například ocelovou výztuž a pomohou tak výrazně snížit vliv na životní prostředí i při zachování požadovaných vlastností konečného produktu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *Beton*. Technologie. Suroviny pro výrobu betonu. Praha: BETON TKS, s. r. o., 1/2021.
- [2] DOSSCHE, Charlotte; BOEL, Veerle; DE CORTE, Wouter; VAN DEN HEEDE, Philip; DE BELIE, Nele, 2016. A plant based LCA of high strength prestressed concrete elements and the assessment of a practical ecological variant. *Cement and concrete composites. ScienceDirect.com | Science, health and medical journals, full text articles and books*. [online]. 192 – 202. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095894651630381X>.
- [3] FRISCHKNECHT, R.; JUNGBLUTH, N.; ALTHAUS, H.J.; DOKA, G.; DONES, R.; HISCHIER, R.; HELLWEG, S.; HUMBERT, S.; MARGNI, M.; NEMECEK, T.; SPIELMANN, M. 2007. *Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods: Data v2.0*. ecoinvent report No. 3, Swiss centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, Switzerland
- [4] GURSEL, Petek; MASANET, Eric; HORVATH, Arpad; STADEL, Alex, 2014. Life-cycle inventory analysis of concrete production: A critical review. *Cement & Concrete Composites. ScienceDirect.com | Science, health and medical journals, full text articles and books*. [online]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946514000511>
- [5] HAUSCHILD, Michael Z., ROSENBAUM, Ralph K., OLSEN Stig Irving a Editors. *Life cycle Assessment, Theory and Practice*. Montpellier: Springer International Publishing, 2018. ISBN 978-3-319-56474-6.
- [6] HORNE, Ralph E., Tim GRANT a Karli VERGHESE. *Life Cycle Assessment: Principles, Practice and Prospects* [online]. Victoria: CSIRO Publishing, 2009. ISBN 9780643094529;0643094520.

- [7] JOLLIET, O., et al, *IMPACT 2002+: A New Life Cycle Impact Assessment Methodology*. The international Journal of Life Cycle Assessment. 2003. 8 (6), 324- 330. DOI: 10.1007/BF02978505
- [8] KOČÍ, Vladimír. *LCA a EPD stavebních výrobků: posuzování životního cyklu a environmentální prohlášení o produktu jako cesta k udržitelnému stavebnictví*. Praha: Česká rada pro šetrné budovy, 2012. ISBN 978-80-260-3504-6.
- [9] KOUT, Jiří, a kol. *I (Love) Module*. Praha: České vysoké učení technické, 2012. 112 s. ISBN 978-80-01-05110-8.
- [10] PETRÁČKOVÁ, Věra; KRAUS, Jiří, a kol. *Akademický slovník cizích slov A-Ž*. Praha: Academia, 2000. 834 s. ISBN 80-200-0607-9.
- [11] SONNEMANN, Guido, Francesc CASTELLS a Marta SCHUHMACHER. *Integrated life cycle and risk assessment for industrial processes*. Boca Raton: Lewis, c2004. Advanced methods in resource and waste management. ISBN 1-56670-644-0.
- [12] TURK, Janez; COTIČ, Zvonko; MLADENVIČ, Ana; ŠAJNA, Aljoša, 2015. Environmental evaluation of green concretes versus conventional concrete by means of LCA. *Waste management. ScienceDirect.com | Science, health and medical journals, full text articles and books*. [online]. 194 – 205.
Dostupné z:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X15300064>
- [13] JAK SE RECYKLUJE STAVEBNÍ ODPAD | TŘÍDĚNÍODPADU.CZ. *Odpady / tříděníodpadu.cz* [online]. Copyright © 2007 [cit. 22.03.2021]. Dostupné z:
<https://www.trideniodpadu.cz/jak-se-recykluje-stavebni-odpad>

- [14] Jak se vyrábí cement | CEMEX CZ. *Výrobce a dodavatel stavebních materiálů / CEMEX CZ* [online]. Copyright © 2020 CEMEX S.A.B. de C.V. [cit. 22.03.2021]. Dostupné z: <https://www.cemex.cz/vyroba-cementu>
- [15] Kamenivo v betonu | MůjBeton.cz. *Beton pro ČR - Mujbeton.cz* [online]. Dostupné z: <https://www.muji-beton.cz/kamenivo-v-betonu>
- [16] Life Cycle Costing: Meaning, Characteristics and Everything Else. *Learn Accounting: Notes, Procedures, Problems and Solutions* [online]. Dostupné z: <https://www.accountingnotes.net/cost-accounting/life-cycle-costing/life-cycle-costing-meaning-characteristics-and-everything-else/5783>
- [17] MABA Prefa spol. s r.o. MABA Prefa spol. s r.o. [online]. Dostupné z: <http://www.mabaprefa.cz/>
- [18] Popílek | Úvod. *Úvod* [online]. Dostupné z: <https://www.cezep.cz/cs/vedlejsi-energeticke-produkty/popilek>
- [19] SimaPro | *The world's leading LCA software* [online]. Copyright © [cit. 08.06.2021]. Dostupné z: <https://simapro.com/wp-content/uploads/2020/06/DatabaseManualMethods.pdf>
- [20] Slévárenský písek / písek pro stavebnictví, stavební chemii a sport - *Provodínske písky a.s.. home CZ – Provodínske písky a.s.* [online]. Copyright © 2020 Provodínské písky a.s. [cit. 22.03.2021]. Dostupné z: <https://www.pisky.cz/slevarensky-pisek/>
- [21] STACHEMENT NN. *Stachema – stavební hmoty a chemie* [online]. Dostupné z: <https://prisadydobetonu.stachema.cz/produkty/superplastifikatory--ztekucovac:c10/stachement-nn:p246.htm>
- [22] Vysokopecní struska | eBeton – Specialista na beton. *eBeton / eBeton – Specialista na beton* [online]. Dostupné z: <https://ebeton.cz/pojmy/vysokopecni-struska>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Modifikovaný rámec LCA převzatý ze standardů ISO 14 040 [5]	11
Obrázek 2: Pozice midpointů a endpointů v dopadovém řetězci [8]	18
Obrázek 3: Schéma postupu dopadu v kategorii globální oteplování [5]	20
Obrázek 4: Kategorie dopadů metody IMPACT 2002+ [19]	23
Obrázek 5: Složení betonové směsi - typ 1 (Zdroj: interní materiál firmy)	27
Obrázek 6: Složení betonové směsi - typ 2 (Zdroj: interní materiál firmy)	27
Obrázek 7: Složení betonové směsi - typ 3 (Zdroj: interní materiál firmy)	28
Obrázek 8: Schéma hlavních vstupů, procesů a výstupů výroby betonu [4].....	30
Obrázek 9: Proces výroby kameniva	31
Obrázek 10: Proces výroby cementu.....	33
Obrázek 11: Proces výroby recyklátu.....	38
Obrázek 12: Proces výroby popílku.....	39
Obrázek 13: Proces výroby slévárenského písku	39
Obrázek 14: Proces výroby ocelářské strusky	40
Obrázek 15: Proces výroby betonu	40
Obrázek 16: Proces přípravy armatury	41
Obrázek 17: Proces výroby betonových prefabrikátů	41
Obrázek 18: Proces likvidace/recyklace betonových prefabrikátů	42
Obrázek 19: Hranice systému - konvenční beton	45
Obrázek 20: Hranice systému - ekologická varianta betonu	46
Obrázek 21: Schéma vstupů a výstupů výrobního procesu prefabrikátů	68
Obrázek 22: Přehled kategorií nákladů [5]	85

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Stanovení hranic systému pro posuzování stavebních výrobků [8]	15
Tabulka 2: Přehled midpointových indikátorů IMPACT 2002+ [7, 8].....	22
Tabulka 3: Přehled endpointových indikátorů IMPACT 2002+ [7, 8].....	23
Tabulka 4: Složení příměsí do betonu dle EFCA	34
Tabulka 5: Typy vody použitelné do betonu [1]	35
Tabulka 6: Procesy použité pro sestavení LCA.....	48
Tabulka 7: Přehled složení jednotlivých betonových směsí	49
Tabulka 8: Přehled množství výztužné oceli.....	50
Tabulka 10: Přehled transportních vzdáleností	51
Tabulka 11: Přehled průměrné spotřeby energie na 1 m ³ betonu	52
Tabulka 12: Přehled konkrétních množství vstupů a výstupů výrobního procesu	69
Tabulka 13: Přehled konkrétních množství vstupů a výstupů procesu recyklace	77
Tabulka 14: Přehled nákladů na životní cyklus prefabrikátů	86

SEZNAM ROVNIC

Rovnice 1: Obecná rovnice výpočtu výsledku indikátoru kategorie dopadu pro jeden elementární tok [8].....	18
Rovnice 2: Obecná rovnice výpočtu výsledku indikátorů kategorie dopadu pro r elementárních toků [8]	19
Rovnice 3: Charakterizace elementárního toku látky i na kategorii dopadu globální oteplování [8].....	19
Rovnice 4: Rovnice 4: Vzorec pro výpočet potenciálu globálního oteplování GWP [8] ...	19
Rovnice 5: Souhrnný vzorec výpočtu indikátoru kategorie dopadu [8]	19

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Složení betonu C 25/30 XF3-1	53
Graf 2: Dopady betonu C 25/30 XF3-1 na ŽP	54
Graf 3: Dopady betonu C 25/30 XF3-1 na ŽP	55
Graf 4: Složení betonu C 30/37 XF4-66	55
Graf 5: Dopady betonu C30/37 XF4-66 na ŽP	56
Graf 6: Dopady betonu C30/37 XF4-66 na ŽP	56
Graf 7: Složení betonu na bázi recyklátu	57
Graf 8: Dopady betonu na bázi recyklátu na ŽP	58
Graf 9: Dopady betonu na bázi recyklátu na ŽP	58
Graf 10: Složení betonu na bázi popílku	59
Graf 11: Dopady betonu na bázi popílku na ŽP	59
Graf 12: Dopady betonu na bázi popílku na ŽP	60
Graf 13: Složení betonu na bázi slévárenského písku	60
Graf 14: Dopady betonu na bázi slévárenského písku na ŽP	61
Graf 15: Dopady betonu na bázi slévárenského písku na ŽP	61
Graf 16: Složení betonu na bázi ocelové strusky	62
Graf 17: Dopady betonu na bázi ocelové strusky na ŽP	63
Graf 18: Dopady betonu na bázi ocelové strusky na ŽP	63
Graf 19: Složení a dopady portlandského cementu	64
Graf 20: Porovnání dopadů jednotlivých betonových směsí na ŽP	64
Graf 21: Jednotlivé kategorie dopadů betonových směsí na ŽP	66
Graf 22: Dopady VP betonu C 25/30 XF3-1 na ŽP	70
Graf 23: Dopady VP betonu C 25/30 XF3-1 na ŽP	70
Graf 24: Dopady VP betonu C 30/37 XF4-66 na ŽP	71
Graf 25: Dopady VP betonu C 30/37 XF4-66 na ŽP	71

Graf 26: Dopady VP betonu na bázi recyklátu na ŽP	72
Graf 27: Dopady VP betonu na bázi recyklátu na ŽP	72
Graf 28: Dopady VP betonu na bázi popílku na ŽP.....	73
Graf 29: Dopady VP betonu na bázi popílku na ŽP.....	73
Graf 30: Dopady VP betonu na bázi slévárenského písku na ŽP	74
Graf 31: Dopady VP betonu na bázi slévárenského písku na ŽP	74
Graf 32: Dopady VP betonu na bázi ocelářské strusky na ŽP.....	75
Graf 33: Dopady VP betonu na bázi ocelářské strusky na ŽP	75
Graf 34: Vliv jednotlivých faktorů VP.....	76
Graf 36: Porovnání dopadů výroby směsí 1m ³ betonových bloků na ŽP	78
Graf 35: Porovnání dopadů výrobního procesu 1m ³ betonových bloků na ŽP.....	78
Graf 37: Porovnání dopadů procesu recyklace 1 m ³ betonových bloků na ŽP	80
Graf 38: Porovnání dopadů výroby směsí 1m ³ betonových bloků na ŽP	81
Graf 39: Porovnání dopadů výrobního procesu 1 m ³ betonových bloků na ŽP.....	81
Graf 40: Porovnání dopadů procesu recyklace 1 m ³ betonových bloků na ŽP.....	82
Graf 41: Dopady 1 m ³ betonového bloku na kategorii GW.....	82
Graf 42: Porovnání nákladů životního cyklu prefabrikátů	88
Graf 43: Porovnání cen konvenčních surovin a ekologických alternativ	89

PŘÍLOHA

Příloha 1: Příklad zadání vstupů do softwaru SimaPro

The screenshot shows the SimaPro software interface with the 'Products' and 'Inputs' sections. The 'Products' section lists 'Concrete mixture 1 - MABA VP' with a quantity of 1 m3. The 'Inputs' section lists various materials and their quantities, including Cement, Sand, Tap water, Plasticiser, Electricity, Heat, and Steel.

Name	Amount	Unit	Quantity	Allocation %	Waste type	Category	Comment
Concrete mixture 1 - MABA VP	1	m3	Volume	100 %		Construction/Concrete	

Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2^SD	Min
Cement, Portland [Europe without Switzerland] production Alloc Def, U		350	kg	Undefined		
.16 Sand, gravel and stone from quarry, EU27		1720	kg	Undefined		
Tap water [Europe without Switzerland] tap water production, conventional treatment Alloc Def, U		668	kg	Undefined		
Plasticiser, for concrete, based on sulfonated melamine formaldehyde (GLO) production Alloc Def, U		2,50	kg	Undefined		
Electricity, medium voltage [Europe without Switzerland] market group for Alloc Def, U		0,04	MWh	Undefined		
Heat, natural gas, at boiler modulating >100kW/RER U		0,05414715	MWh	Undefined		
Steel, low-alloyed [RER] steel production, electric, low-alloyed Alloc Def, U		23,09	kg	Undefined		
Transport, lorry 7.5-16t, EURO5/RER U		229,96	tkm	Undefined		

Příloha 2: Příklad výsledných tabulkových hodnot dopadů – characterization

The screenshot shows the SimaPro software interface with the 'Characterization' section. The table displays impact categories such as Carcinogens, Non-carcinogens, Respiratory inorganics, etc., with their respective units and values.

Sel	Impact category	Unit	Total	Concrete mixture 1 - MABA VP	Cement, Portland [Europe without Switzerland]	.16 Sand, gravel and stone from quarry, EU27	Tap water [Europe without Switzerland]	Plasticiser, for concrete, based on sulfonated melamine formaldehyde (GLO)	Electricity, medium voltage [Europe without Switzerland]	Heat, natural gas, at boiler modulating >100kW/RER U	Steel, low-alloyed [RER] steel production, electric, low-alloyed	Transport, lorry 7.5-16t, EURO5/RER U	Waste reinforcement	W tr
<input checked="" type="checkbox"/>	Carcinogens	kg C2H3Cl eq	8,63	x	1,08	x	0,00196	0,177	0,129	0,126	6,79	0,324	0,00454	x
<input checked="" type="checkbox"/>	Non-carcinogens	kg C2H3Cl eq	5,95	x	3,13	2,56E-5	0,00267	0,0398	0,114	0,00906	2,18	0,467	0,00219	x
<input checked="" type="checkbox"/>	Respiratory inorganics	kg PM2.5 eq	0,192	x	0,11	0,00712	0,000188	0,00475	0,015	0,00162	0,0158	0,0354	0,00157	x
<input checked="" type="checkbox"/>	Ionizing radiation	Bq C-14 eq	2,93E3	x	1,06E3	x	8	29,3	926	14,6	311	579	4	x
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq	2,33E-5	x	9E-5	x	2,34E-8	5,09E-7	2,16E-6	1,99E-6	1,38E-6	8,08E-6	1,04E-7	x
<input checked="" type="checkbox"/>	Respiratory organics	kg C2H4 eq	0,075	x	0,0252	0,00732	2,92E-5	0,00203	0,00192	0,00245	0,0051	0,0304	0,0006	x
<input checked="" type="checkbox"/>	Aquatic ecotoxicity	kg TEG water	1,25E4	x	5,63E3	0,00196	11	196	938	127	2,55E3	3,02E3	22,7	x
<input checked="" type="checkbox"/>	Terrestrial ecotoxicity	kg TEG soil	4,55E3	x	1,56E3	0,00492	3,01	50,2	244	31	1,01E3	1,65E3	5,5	x
<input checked="" type="checkbox"/>	Terrestrial acid/nutri	kg SO2 eq	4,69	x	2,85	0,241	0,00283	0,0535	0,243	0,0496	0,198	1,01	0,0377	x
<input checked="" type="checkbox"/>	Land occupation	m2org.arable	2,51	x	1,02	x	0,00557	0,0312	0,499	0,0047	0,324	0,625	0,00124	x
<input checked="" type="checkbox"/>	Aquatic acidification	kg SO2 eq	1,01	x	0,589	0,0559	0,00101	0,0195	0,0877	0,0111	0,0556	0,176	0,00553	0,1
<input checked="" type="checkbox"/>	Aquatic eutrophication	kg PO4 P-lim	0,0891	x	0,0129	x	5,88E-5	0,000726	0,00586	9,93E-5	0,00365	0,00508	5,31E-5	0,1
<input checked="" type="checkbox"/>	Global warming	kg CO2 eq	410	x	301	12,4	0,188	2,94	10,4	13,4	10,7	50,2	0,564	x
<input checked="" type="checkbox"/>	Non-renewable energy	MJ primary	3,24E3	x	1,3E3	162	3,76	82,7	390	242	205	845	8,85	x
<input checked="" type="checkbox"/>	Mineral extraction	MJ surplus	4,92	x	2,14	0,365	0,0152	0,173	0,286	0,0217	1,01	0,894	0,0126	x

Příloha 3: Příklad výsledných tabulkových hodnot dopadů – normalization

The screenshot shows the SimaPro software interface with the 'Normalization' section. The table displays normalized impact values for various categories, with a yellow highlight on the 'Waste water treatment' row.

Unit	Total	Concrete mixture 1 - MABA VP	Cement, Portland [Europe without Switzerland]	.16 Sand, gravel and stone from quarry, EU27	Tap water [Europe without Switzerland]	Plasticiser, for concrete, based on sulfonated melamine formaldehyde (GLO)	Electricity, medium voltage [Europe without Switzerland]	Heat, natural gas, at boiler modulating >100kW/RER U	Steel, low-alloyed [RER] steel production, electric, low-alloyed	Transport, lorry 7.5-16t, EURO5/RER U	Waste reinforcement	Waste water treatment,
0,0248	x	0,0126	0,000705	2,07E-5	0,000556	0,0016	0,000215	0,00511	0,00383	0,000158	x	
0,00323	x	0,00122	1,83E-5	2,43E-6	3,62E-5	0,000202	2,25E-5	0,000631	0,00109	6,21E-6	x	
0,0414	x	0,0304	0,00125	1,9E-5	0,000297	0,00186	0,00135	0,00108	0,00507	5,69E-5	x	
0,0213	x	0,00856	0,00107	2,49E-5	0,000545	0,00257	0,00159	0,00136	0,00557	5,83E-5	x	

Příloha 4: Příklad výsledných tabulkových hodnot dopadů – porovnání jednotlivých typů VP

Impact assessment: Inventory | Process contribution | Setup | Checks (1468) | Product overview

Characterization | Damage Assessment | Normalization | Weighting | Single score

Default units: Exclude long-term emissions: Per impact category:

Impact category	Unit	Concrete mixture 1 - MABA VP	Concrete mixture 2 - MABA VP	Concrete mixture 3 - MABA VP	Concrete mixture 4 - MABA VP	Concrete mixture 5 - MABA VP	Concrete mixture 6 - MABA VP
<input checked="" type="checkbox"/> Carcinogens	kg C2H3Cl eq	8,63	17,3	15,6	15,3	15,5	15,7
<input checked="" type="checkbox"/> Non-carcinogens	kg C2H3Cl eq	5,95	9,12	7,97	7,25	7,72	8,46
<input checked="" type="checkbox"/> Respiratory inorganics	kg PM2.5 eq	0,192	0,206	0,223	0,162	0,204	0,217
<input checked="" type="checkbox"/> Ionizing radiation	Bq Cl-14 eq	2,93E3	3,49E3	3,2E3	2,95E3	3,13E3	4,1E3
<input checked="" type="checkbox"/> Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq	2,32E-5	2,66E-5	2,45E-5	2,23E-5	2,42E-5	2,62E-5
<input checked="" type="checkbox"/> Respiratory organics	kg C2H4 eq	0,075	0,0816	0,0911	0,0726	0,0804	0,0874
<input checked="" type="checkbox"/> Aquatic ecotoxicity	kg TEG water	1,25E4	1,66E4	1,49E4	1,35E4	1,5E4	1,59E4
<input checked="" type="checkbox"/> Terrestrial ecotoxicity	kg TEG soil	4,55E3	6,04E3	5,57E3	5,19E3	5,72E3	5,83E3
<input checked="" type="checkbox"/> Terrestrial acid/nutri	kg SO2 eq	4,69	4,78	5,36	3,74	4,67	5,21
<input checked="" type="checkbox"/> Land occupation	m2org.arable	2,51	3,07	2,8	2,56	3,01	2,91
<input checked="" type="checkbox"/> Aquatic acidification	kg SO2 eq	1,01	0,916	1,22	0,74	1,04	1,12
<input checked="" type="checkbox"/> Aquatic eutrophication	kg PO4 P-lm	0,0891	0,0959	0,0921	0,0891	0,0921	0,0936
<input checked="" type="checkbox"/> Global warming	kg CO2 eq	410	367	458	269	375	446
<input checked="" type="checkbox"/> Non-renewable energy	MJ primary	3,24E3	3,36E3	3,89E3	2,9E3	3,36E3	3,68E3
<input checked="" type="checkbox"/> Mineral extraction	MJ surplus	4,92	6,34	6,53	5,24	5,78	6,23

Comparing processes: Method: IMPACT 2002+ V2.12 / IMPACT 2002+ / Characterization

CVUT | 8.3.0.0 Analyst

Příloha 5: Příklad výsledných tabulkových hodnot dopadů - inventory

Network: Tree | Impact assessment: Inventory | Process contribution | Setup | Checks (1468) | Product overview

Compartment: All compartments | Indicator: Amount | Category: Standard | Group

Default units: Exclude long-term emissions: Per impact category:

No	Substance	Compartment	Sub-compartment	Unit	Total	Concrete mixture 1 - MABA VP	Cement, Portland (Europe without Switzerland) production Alloc Def, U	16 Sand, gravel at quarry, EU27
1	Zirconium-95	Water	river	Bq	4,47	x	1,99	x
2	Zirconium-95	Air	low. pop.	µBq	591	x	214	x
3	Zirconium	Air	low. pop.	µg	25,9	x	0,859	x
4	Zirconium	Raw	in ground	mg	271	x	102	x
5	Zinc, Zn 3.1%, in mixed ore	Raw	in ground	mg	32,3	x	8,46	x
6	Zinc, Zn 0.63%, Au 9.7E-4%, Ag 9.7E-4%, Cu 0.38%, Pb 0.014%, in ore	Raw	in ground	mg	807	x	512	x
7	Zinc-65	Water	river	Bq	1,55	x	0,588	x
8	Zinc-65	Air	low. pop.	µBq	342	x	112	x
9	Zinc	Soil	industrial	mg	11,4	x	5,17	x
10	Zinc	Soil	agricultural	mg	13,8	x	6,12	x
11	Zinc	Soil		mg	189	x	18,2	x
12	Zinc	Water	river	mg	247	x	65,4	x
13	Zinc	Water	ocean	mg	267	x	63,9	x
14	Zinc	Water	lake	ng	1,31	x	x	x
15	Zinc	Water	groundwater, long-t	g	9,69	x	3,61	x
16	Zinc	Water	groundwater	g	1,11	x	0,0269	x
17	Zinc	Water		mg	166	x	1,65	x
18	Zinc	Air	stratosphere + trop	ng	29,7	x	11	x
19	Zinc	Air	low. pop., long-term	mg	2,57	x	0,807	x
20	Zinc	Air	low. pop.	mg	55,7	x	20,4	x
21	Zinc	Air	high. pop.	mg	23,2	x	8,11	x
22	Zinc	Air		mg	643	x	33,3	x
23	Zinc	Raw	in ground	g	15,5	x	3,22	x
24	Zinc	Raw		mg	72,6	x	x	72,6
25	Zeta-cypermethrin	Soil	agricultural	ng	8,62	x	3,49	x
26	Xylene	Water	river	mg	121	x	54,1	x
27	Xylene	Water	ocean	mg	31,2	x	7,36	x
28	Xylene	Water		mg	1,6	x	0,926	x

Analyzing 1 m3 Concrete mixture 1 - MABA VP; Method: IMPACT 2002+ V2.12 / IMPACT 2002+

CVUT | 8.3.0.0 Analyst